



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências
2007

**Isilda Fernanda
Venda Costa Cruz**

**Avaliação hidrogeológica e ecotoxicológica da água
subterrânea do manancial de Paranhos, Porto**



**Isilda Fernanda
Venda Costa Cruz**

**Avaliação hidrogeológica e ecotoxicológica da água
subterrânea do manancial de Paranhos, Porto**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Minerais e Rochas Industriais (Área de Geoambiente), realizada sob a orientação científica do Doutor Hélder I. Chaminé, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Geotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto e membro investigador no Centro de Minerais Industriais e Argilas da Universidade de Aveiro e do Doutor Fernando T. Rocha, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e Coordenador do Centro de Minerais Industriais e Argilas

o júri

presidente

Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Doutor Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Doutor José Manuel Vaz Velho Barbosa Marques
Professor Auxiliar do Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa

Doutor Hélder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé
Professor Coordenador do Instituto Superior de Engenharia do Porto, Instituto Politécnico do Porto

Doutora Laura Maria Simões Coutinho Guimarães
*Investigadora Auxiliar do Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental,
Universidade do Porto*

agradecimentos

Ao Professor Doutor Hélder I. Chaminé (ISEP, MIA-UA), meu orientador, um especial agradecimento pelo cuidado em me proporcionar as condições necessárias para a execução deste trabalho. Pelos ensinamentos e conselhos, pela paciência e tempo despendidos e pela revisão minuciosa do texto.

Ao Professor Doutor Fernando T. Rocha (UA), pela co-orientação, incentivo, leitura crítica ao texto e disponibilidade ao longo do curso de mestrado.

Ao Laboratório de Ecotoxicologia do CIIMAR (Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental), em particular à Professora Doutora Lúcia Guilhermino na qualidade de Directora do Laboratório, pela amabilidade com que me recebeu e pela facilidade concedida para a realização dum estágio de 9 meses.

À Doutora Laura Guimarães (Lab. de Ecotoxicologia, CIIMAR) pelo acompanhamento e pelos conhecimentos transmitidos no decurso de todo o trabalho prático, bem como pelo amparo em todos os passos referentes às técnicas de ecotoxicologia. Pela disponibilidade e preciosa ajuda na análise e avaliação dos resultados obtidos.

À Dr.^a Maria José Afonso (ISEP), pela leitura crítica de uma versão inicial do manuscrito, bem como pela partilha da sua experiência sobre a hidrogeologia dos subterrâneos de Paranhos e de dados inéditos da sua investigação de doutoramento, actualmente em curso, sobre a área metropolitana do Porto.

Às direcções do Instituto Superior de Engenharia do Porto e do Departamento de Engenharia Geotécnica, por todas as facilidades concedidas para a realização do estágio no CIIMAR e pelos constantes incitamentos para evoluir.

À colega e amiga Eng^a Geotécnica Ana Pires e ao colega Mestre José Teixeira pela ajuda imprescindível na elaboração da cartografia vectorial e a manipulação das ferramentas SIG, bem como à colega Eng^a Geotécnica Clara Seabra pelo companheirismo durante o trabalho de campo e partilha de dados.

Às Águas do Porto, EM (ex-Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento do Porto, SMAS), nomeadamente ao Eng^o Guilherme Fontes pela colaboração operacional imprescindível à concretização deste estudo. Por fim, aos funcionários dos SMAS, em particular, ao Sr. J. Pacheco, por todo o auxílio nos reconhecimentos exploratórios.

A todos os meus amigos, em particular, à Anabela Cerqueira e ao Carlos S. Pereira, que me ajudaram e incentivaram para a realização deste curso de mestrado.

Ao Rui e a toda a minha família, especialmente aos meus Pais e irmão, agradeço o apoio de rectaguarda, carinho e paciência que foram cruciais nos momentos mais difíceis...

Este trabalho recebeu apoio do projecto GROUNDURBAN (POCTI/CTE-GIN/59081/2004).

palavras-chave

Cartografia hidrogeológica, ecotoxicologia, fontes de contaminação, geoambiente

resumo

Este trabalho tem como objectivo apresentar numa abordagem multidisciplinar, utilizando uma combinação dos métodos hidrogeológicos e ecotoxicológicos, a importância da cartografia geológica e hidrogeológica, assim como a necessidade de um inventário de fontes de contaminação à superfície com o intuito de perceber a susceptibilidade à contaminação dos sistemas de água subterrânea do Porto (NW de Portugal).

Este estudo foi realizado ao longo e na área envolvente de uma galeria subterrânea com cerca de 1km, correspondente ao antigo manancial de Paranhos (também conhecido como manancial da Arca d'Água ou da Arca das Três Fontes), o qual constituiu, durante mais de cinco séculos, uma das principais fontes de abastecimento de água à cidade do Porto.

Todas as fontes potenciais de contaminação na área envolvente ao manancial de Paranhos foram inventariadas. A elaboração do inventário seguiu as seguintes etapas: i) compilação de dados; ii) implementação do inventário; iii) análise e avaliação dos pontos reconhecidos como potenciais fontes de contaminação da água subterrânea. Neste estudo recorreu-se à ferramenta SIG, a qual foi fundamental para um melhor conhecimento da área de estudo.

As campanhas de superfície e sub-superfície foram realizadas para identificar os acidentes tectónicos principais responsáveis pelas zonas de circulação da água subterrânea. Com base nestes dados foram seleccionados diversos pontos de amostragem e tendo sido realizadas colheitas de água, quer para análise hidroquímica quer ecotoxicológica (bioensaios com *Daphnia magna*). As análises hidroquímicas evidenciam o enriquecimento destas águas subterrâneas em nitratos e sulfatos, provavelmente resultantes da intensa urbanização e práticas agrícolas. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que as águas subterrâneas da cidade do Porto são adequadas para a irrigação. São necessários estudos geoambientais adicionais para avaliar potenciais variações na composição e na toxicidade da água associadas a mudanças sazonais do clima e de actividades humanas.

Esta metodologia foi extremamente valiosa no conhecimento da susceptibilidade à contaminação dos sistemas de água subterrânea da cidade do Porto. Além disso, poderá ser um bom instrumento para o planeamento e a gestão dos recursos hídricos subterrâneos de uma forma sustentável.

keywords

Hydrogeological mapping, ecotoxicology, groundwater contamination load, geoenvironment

abstract

This work target's to present in a multidisciplinary approach, a combination of hydrogeological and ecotoxicological methods, the importance of geological and hydrogeological mapping, as well as the vital significance of an inventory of surface contamination sources, to understand the susceptibility of Porto City groundwater systems (NW Portugal).

Such study was developed beyond the Paranhos spring galleries catchworks area (ca. 1km extension) formed for more than five centuries one of the main water supplies to Porto City.

All existing and potential sources of contamination in the surrounding area of Paranhos spring galleries catchworks were documented. The inventory of contamination sources included the following steps: i) recording of elements of inventory design; ii) inventory implementation iii) evaluation and analysis of the elements of the groundwater contamination inventory. This study was supported by GIS technology, which was fundamental to a better understanding over the study area.

Surface and subsurface fieldwork campaigns were first carried out to identify major tectonic accidents responsible for groundwater circulation paths, and to assess lithological and structural heterogeneity. Based on these data, several sampling sites were selected, and water samples were collected in spring collection chambers both for hydrochemical analyses and standard bioassays with *Daphnia magna*. Hydrochemical analyses showed a nitrate and sulphate-enriched composition for these groundwaters, probably resulting from intense urbanisation and some agricultural practices. The results obtained in this study suggest that Porto urban groundwaters are suitable for irrigation uses. Additional geoenvironmental studies are required to assess potential variations in water composition and toxicity associated with seasonal changes in climate and human activities.

This methodology proved valuable in deepening our knowledge on the susceptibility of Porto City groundwater systems. In addition, it can provide guidelines for the planning and management of water resources in an equitable, sustainable and ethical manner.

Índice

1. INTRODUÇÃO GERAL E OBJECTIVOS.....	9
1.1. O ciclo hidrológico.....	13
1.2. Enquadramento e objectivos.....	16
 2. HIDROGEOLOGIA APLICADA.....	 19
2.1. Formações aquíferas.....	21
2.2. Caracterização físico-química e outras propriedades da água.....	25
2.3. Diagramas hidroquímicos.....	38
2.4. Breves tópicos sobre hidrogeologia de maciços rochosos fissurados.....	42
2.5. Qualidade da água subterrânea e contaminação.....	49
2.5.1. Mecanismos de contaminação.....	50
2.6. Potenciais fontes de contaminação da água subterrânea.....	51
2.6.1. Uma classificação das fontes de contaminação.....	53
2.7. Inventário das fontes de contaminação.....	60
2.8. Cartografia aplicada às fontes de contaminação.....	62
 3. AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	 65
3.1. Generalidades.....	67
3.2. Poluição do meio aquático.....	68
3.2.1. Principais tipos de poluentes aquáticos.....	69
3.2.2. Principais vias de entrada de poluentes nos ecossistemas aquáticos.....	70
3.3. Bioensaios de toxicidade.....	71
3.3.1. Organismos mais utilizados em ensaios de toxicidade de água doce.....	75
3.3.2. Utilização de bioensaios de toxicidade na avaliação de águas subterrâneas.....	78
 4. MATERIAL E MÉTODOS.....	 81
4.1. Caracterização hidrogeológica.....	83
4.2. Avaliação ecotoxicológica.....	91
4.2.1. Métodos de cultura de <i>Daphnia magna</i>	91

5. ÁREA ENVOLVENTE AO TÚNEL DE ARCA D'ÁGUA – RUA NOVA DO REGADO, MANANCIAL DE PARANHOS: HIDROGEOLOGIA E ECOTOXICOLOGIA.....	99
5.1. Bosquejo histórico do abastecimento de água à Invicta.....	101
5.2. O Manancial de Paranhos: enquadramento geográfico.....	105
5.3. Enquadramento geológico e geomorfológico regional.....	107
5.4. Enquadramento hidrogeológico da cidade do Porto.....	109
5.5. Breve análise e classificação climática.....	113
5.6. Fontes de contaminação na região do Porto.....	113
5.7. O sector de Arca d'água – Rua Nova do Regado, Manancial de Paranhos: uma abordagem geoambiental.....	115
5.7.1. Enquadramento geológico e hidrogeológico local.....	115
5.7.2. Amostragem.....	120
5.7.3. Resultados e discussão hidrogeológica.....	125
5.8. Avaliação ecotoxicológica: Resultados.....	147
 6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	 157
 7. REFERÊNCIAS.....	 163
 ANEXOS.....	 175
ANEXOS I.....	177
ANEXOS II.....	185

Índice de figuras

Figura 1. O ciclo hidrológico: os percursos da água (adaptado de Plummer & McGeary, 1996).....	13
Figura 2. Tipos de aquíferos de acordo com a sua textura (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).....	21
Figura 3. Tipos de aquíferos (IGM, 2001).....	23
Figura 4. Níveis argilosos descontínuos confinantes (IGM, 2001).....	23
Figura 5. Diagrama de Piper (Sanders, 1988).....	39
Figura 6. Fácies hidroquímicas (adaptado de Fetter, 2001).....	39
Figura 7. Diagrama de Stiff (Sanders, 1998).....	40
Figura 8. Diagrama de Wilcox (adaptado de Pedrosa, 1999).....	41
Figura 9. Aspectos geológico-estruturais e hidrogeomecânicos relacionados com as descontinuidades; A) Bloco diagrama esquemático mostrando a direcção preferencial dos planos de descontinuidade sujeitos a um campo de tensões, com $\sigma_3 \geq \sigma_2 \geq \sigma_1$; B) Perfil esquemático relacionando a pressão hidrostática com a profundidade (adaptado de Ingebritsen & Sanford, 1998).....	43
Figura 10. Esquema ilustrativo da direcção de drenagem devido a uma falha e/ou lineamento tectónico principal (adaptado de Bisson & Lehr, 2004).....	46
Figura 11. Perfil transversal interpretativo de uma zona de uma falha; ilustra também a relação do fluxo com o grau de fracturação. As setas mostram a direcção do fluxo da água subterrânea (adaptado de Bisson & Lehr, 2004).....	46
Figura 12. Processos que afectam o transporte de contaminantes (adaptado de Zaporozec, 2004).....	50
Figura 13. Fontes de contaminação em ambiente urbano (adaptado de Zaporozec & Miller, 2000).....	53
Figura 14. Sequência dos métodos utilizados para a identificação das fontes de contaminação (adaptado de EPA, 1991).....	61
Figura 15. Representação esquemática de <i>Daphnia magna</i> (adaptado de Cooney, 1995).....	76
Figura 16. Modelo da ficha de inventário das potenciais fontes de contaminação à superfície.....	85
Figura 17. Fontes potenciais de contaminação.....	86
Figura 18. Modelo da ficha de inventário hidrogeológico utilizado no túnel de Arca d'Água - Rua Nova do Regado.....	87
Figura 19. Tabela de atributos gerada em ambiente SIG.....	88
Figura 20. Cálculo da susceptibilidade usando o método de <i>Kernel</i>	90
Figura 21. Culturas parentais em grupo de <i>Daphnia magna</i>	92

Figura 22. Renovação do meio de cultura de <i>Chlorella vulgaris</i>	95
Figura 23. Bioensaio de toxicidade aguda da água subterrânea do Manancial de Paranhos para <i>D. magna</i>	96
Figura 24. Preparação de soluções-teste para uma série de concentrações com correcção de pH.....	98
Figura 25. Aspectos diversos dos túneis do manancial de Paranhos.....	104
Figura 26. Enquadramento geográfico da área de estudo.....	105
Figura 27. Percurso esquemático dos túneis do manancial de Paranhos: Túnel 1. Jardim de Arca d'Água – Rua Nova do Regado; Túnel 2. Rua de S. Dinis – Rua dos Burgães; Túnel 3. Rua dos Burgães – Largo de Alberto Pimentel (base topográfica: folheto dos SMAS; s/ escala).....	106
Figura 28. Enquadramento geológico da região do Porto no Norte de Portugal (simplificado de Oliveira et al., 1992).....	107
Figura 29. Hipsometria da região do Porto (adaptado de Afonso et al., 2004).....	109
Figura 30. Enquadramento geológico da área metropolitana do Porto (adaptado de Chaminé 2000, Chaminé et al., 2003).....	110
Figura 31. Extracto da “Carta Geológica” da Carta Geotécnica do Porto (COBA, 2003), na área de estudo. As manchas a cinzento correspondem às aluviões e as manchas rosa são rochas graníticas. A traço negro está representado o traçado do túnel.....	115
Figura 32. Extracto da “Carta Geomorfológica” da Carta Geotécnica do Porto (COBA, 2003), na área de estudo. A mancha rosa corresponde a cotas entre 40 e 100m; a mancha castanha clara a cotas entre 100 e 140m e a mancha castanha escura a cotas superiores a 140m. As linhas azuis dizem respeito ao traçado natural das linhas de água. A traço negro está representado o traçado do túnel.....	116
Figura 33. Extracto da “Carta Hidrogeológica” da Carta Geotécnica do Porto (COBA, 2003) na área de estudo. A mancha azul corresponde à unidade Uh1 e a mancha rosa corresponde à unidade Uh3. A traço negro está representado o traçado do túnel.....	117
Figura 34. Extracto da “Carta de Condições de Drenagem de Superfície” da Carta Geotécnica do Porto (COBA, 2003), na área de estudo. A mancha verde corresponde a um coeficiente de escoamento (C) com valores compreendidos em 0,45 e 0,75 e a mancha branca a valores de $C < 0,75$. As linhas azuis correspondem ao traçado natural e as linhas intermitentes aos trechos canalizados. A traço negro está representado o traçado do túnel.....	118
Figura 35. Esboço hidrogeológico do traçado subterrâneo (segundo Afonso et al., 2006b).....	119
Figura 36. Mapa de inventário das fontes de contaminação.....	121
Figura 37. Mapa dos pontos de amostragem seleccionados para as análises ecotoxicológicas.....	124

Figura 38. Imagem de satélite do traçado do Túnel 1 (adaptado de http://earth.google.com/).....	125
Figura 39. Valores de condutividade eléctrica vs amostragem.....	128
Figura 40. Valores de nitratos vs amostragem.....	128
Figura 41. Valores de bicarbonatos vs amostragem.....	129
Figura 42. Valores de cálcio vs amostragem.....	129
Figura 43. Valores de cloretos vs amostragem.....	130
Figura 44. Valores de magnésio vs amostragem.....	130
Figura 45. Valores de potássio vs amostragem.....	131
Figura 46. Valores de sílica vs amostragem.....	131
Figura 47. Valores de sódio vs amostragem.....	132
Figura 48. Valores de sulfatos vs amostragem.....	132
Figura 49. Valores de pH vs amostragem.....	133
Figura 50. Valores de temperatura vs amostragem.....	133
Figura 51. Diagrama de Piper relativo à amostragem realizada.....	134
Figura 52. Diagramas de Stiff relativos à amostragem realizada.....	135
Figura 53. Diagrama de Wilcox relativo à amostragem realizada (pontos amostrados a vermelho).....	136
Figura 54. Mapas de susceptibilidade à contaminação de águas subterrâneas para os raios de influência de 25m, 50m, 75m, 100m e 125m.....	143
Figura 55. Mapas de susceptibilidade à contaminação de águas subterrâneas para os raios de influência de 150m, 200m, 300m, 400m e 500m.....	145
Figura 56. Resultados ecotoxicológicos obtidos nos nove pontos de amostragem.....	149

Índice de quadros

Quadro 1. Distribuição da água no globo terrestre (adaptado de Nace, 1967).....	14
Quadro 2. Quantidade de água necessária para os diferentes sectores (adaptado de Brassington, 1998).....	15
Quadro 3 Valores de temperatura fixados pela legislação em vigor (Mendes & Oliveira, 2004).....	27
Quadro 4. Valores de pH fixados pela legislação em vigor (Mendes & Oliveira, 2004).....	27
Quadro 5. Valores de condutividade eléctrica fixados pela legislação em vigor para uma água de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).....	28
Quadro 6. Classificação da mineralização e da qualidade das águas de acordo com a condutividade eléctrica (Mendes & Oliveira, 2004).....	29
Quadro 7. Valores fixados na legislação em vigor para água de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).....	31
Quadro 8. Valores de sulfatos fixados pela legislação em vigor para águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).....	32
Quadro 9. Valores de nitratos fixados pela legislação em vigor para águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).....	33
Quadro 10. Valores de nitritos fixados pela legislação em vigor para águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).....	34
Quadro 11. Valores de cálcio em normas de qualidade da água para consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).....	35
Quadro 12. Valores de magnésio em normas de qualidade da água para consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).....	35
Quadro 13. Valores de sódio fixados pela legislação em vigor para águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).....	36
Quadro 14. Valores de potássio fixados pela legislação em vigor para águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).....	37
Quadro 15. Valores de azoto amoniacal fixados pela legislação em vigor para águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).....	38
Quadro 16. Classificação do grau de alteração (ISRM, 1978).....	48
Quadro 17. Métodos de classificação das fontes de contaminação das águas subterrâneas (Zaporozec, 2004).....	51
Quadro 18. Síntese das principais fontes de contaminação pela sua origem (adaptado de Zaporozec, 2004).....	52
Quadro 19. Concentrações máximas admissíveis para algumas substâncias potencialmente perniciosas para a água de consumo humano (adaptado de WHO, 1993)...	54

Quadro 20. Fontes de poluição e respectivos contaminantes (adaptado de Foster et al., 2002).....	59
Quadro 21. Alguns dos principais contaminantes naturais e de origem antropogénica, e respectiva natureza (adaptado de Walker et al., 2001).....	70
Quadro 22. Constituição do suplemento vitamínico usado no enriquecimento do meio ASTM, para um volume final de 500 mL.....	93
Quadro 23. Constituição do meio MBL (Guilhermino, 1996).....	95
Quadro 24. Porosidade e permeabilidade das formações (COBA, 2003).....	111
Quadro 25. Principais características das unidades hidrogeológicas (adaptado de COBA, 2003).....	111
Quadro 26. Resumo das características das minas de água da cidade do Porto (adaptado de COBA, 2003).....	112
Quadro 27. Valores de pH, condutividade eléctrica e temperatura dos pontos de amostragem para análises físico-químicas.....	120
Quadro 28. Inventário das 54 fontes de contaminação na área envolvente ao túnel de Arca d'Água -Rua Nova do Regado.....	122
Quadro 29. Síntese dos resultados das análises físico-químicas dos pontos de amostragem.....	127
Quadro 30. Síntese dos valores da taxa de adsorção de sódio.....	136
Quadro 31. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 1.....	151
Quadro 32. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda com correcção de pH realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 1.....	151
Quadro 33. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 2.....	152
Quadro 34. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 3.....	152
Quadro 35. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda com correcção de pH realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 3.....	152
Quadro 36. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 4.....	152

Quadro 37. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 5.....	153
Quadro 38. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 6.....	153
Quadro 39. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 7.....	153
Quadro 40. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 8.....	153
Quadro 41. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 9.....	154

Índice de anexos

Anexos I. Fichas de inventário hidrogeológico.....	177
Anexos II. Fichas de inventário das potenciais fontes de contaminação.....	185

1. INTRODUÇÃO GERAL E OBJECTIVOS

1. Introdução geral e objectivos

A Hidrogeologia é geralmente encarada como uma parte da Hidrologia que tem, como objectivo, o estudo do armazenamento, circulação e distribuição das águas terrestres na zona saturada das formações geológicas, tendo em conta as suas propriedades físicas e químicas, as suas interacções com o meio físico e biológico e as suas reacções à acção do Homem (Custodio & Llamas, 2001).

Um estudo hidrogeológico comporta, assim, três importantes fases, que são a prospecção, a pesquisa e a exploração (Carvalho, 1984, 2006). A prospecção e a pesquisa são um conjunto de acções que são necessárias realizar para que seja possível descobrir os recursos e determinar as suas características, até à revelação da existência de valor económico. A exploração é o aproveitamento dos recursos, e só deverá ser realizado depois da prospecção e da pesquisa. A prospecção hidrogeológica reúne em geral meios indirectos, tais como (Carvalho, 1984; Carvalho & Chaminé, 2004; Carvalho, 2006): reconhecimentos geológicos e geomorfológicos prévios do terreno, cartografia geológica, fotogeológica e hidrogeológica, inventário hidrogeológico, rastreios hidroquímicos e levantamentos geofísicos. A pesquisa abrange a realização de trabalhos de perfuração com meios mecânicos que permitam a realização de ensaios de caracterização hidrodinâmica e hidroquímica dos aquíferos ou das zonas aquíferas. A exploração abarca a construção de estruturas captantes, geralmente furos verticais, inclinados ou horizontais, e a monitorização da extracção em termos dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e hidrodinâmicos.

As águas subterrâneas integram a componente não visível e mais lenta do ciclo da água. O tempo decorrido entre a infiltração de uma gota de água da chuva no terreno até à sua aparição em nascentes, galerias, poços, furos, ou outras manifestações naturais ou forçadas, pode variar entre alguns meses a vários anos; centenas ou milhares de anos no caso das águas minerais e termominerais de circuito lento e profundo. Este ciclo é movido pela acção da gravidade, embora para as águas mais profundas possam ser aduzidos outros mecanismos. Quando o cidadão comum é confrontado com as questões da água

(disponibilidade, qualidade, adequabilidade para usos consumptivos e não consumptivos, incluindo os energéticos e os conflitos locais ou internacionais) vem à mente a água superficial: os rios, os grandes lagos, as barragens e as albufeiras, as grandes obras de adução do passado ou actuais (Carvalho & Amador, 2002).

O balanço hídrico à escala do planeta conduz a taxas de distribuição da seguinte ordem de grandeza (Anon, 1978): 97,5% da água da Terra corresponde à água salgada dos oceanos, estando a água doce avaliada em, apenas, 2.5% do total; desta magra fatia, 69% é constituída por água das calotes glaciárias, *icebergs*, glaciares e neves eternas, 30% correspondem a águas subterrâneas e apenas 1% ao conjunto das águas superficiais, da atmosfera e da água biológica.

A Hidrogeologia é, porventura, o ramo das ciências geológicas que mais se desenvolveu nas últimas três décadas (Fetter, 2001). Este crescimento tem sido marcado, a partir dos meados da década de 70, do Século XX, pelo incremento progressivo de actividades no domínio das questões de transporte de massa, de remediação e, mais recentemente, da biorremediação (Belitz, 2001). A água subterrânea é um recurso geológico de valor económico, social e político fragilizado, quer por questões ligadas à quantidade quer às questões de qualidade, nomeadamente, à contaminação, degradação e reabilitação (Carvalho, 1996, 2002; Carvalho et al., 2003).

A Hidrogeologia é entendida como o estudo das águas subterrâneas e enquadra as relações entre os processos geológicos e a água (Fetter, 2001). É um ramo da Hidrologia, a qual é entendida como a ciência que estuda a ocorrência, a distribuição, o movimento e os fenómenos físico-químicos da totalidade da água do planeta Terra. É uma área do conhecimento fortemente interdisciplinar, i.e., ao técnico especialista em hidrogeologia com diversos perfis e competências específicas — Geólogo, Engenheiro de Recursos Hídricos, Engenheiro Geólogo, Engenheiro de Minas, Geógrafo de Planeamento, Biólogo, etc. — é exigida preparação em geologia, hidráulica, matemática, física, química, biologia e computação (Carvalho, 2006).

1.1. O ciclo hidrológico

A água circula continuamente na Natureza, podendo passar pelos diferentes estados — sólido, líquido e gasoso (figura 1). Devido ao calor do Sol a água dos oceanos, mares, rios e lagos passa lentamente ao estado gasoso, isto é, evapora-se e passa para a atmosfera. O vapor de água na atmosfera arrefece e condensa-se, ou seja, transforma-se em pequenas gotas de água, formando as nuvens. De seguida, a água volta novamente à superfície terrestre sob a forma de precipitação, de chuva, de neve ou de granizo. Uma parte cai directamente nos oceanos, mares, rios e lagos, outra escorre à superfície terrestre — *escorrência superficial* — e outra infiltra-se — *infiltração* — constituindo a água subterrânea. A água adsorvida pelo solo passa para as plantas, que a absorvem pelas raízes. Pela evaporação, respiração e transpiração dos organismos, a água regressa de novo à atmosfera. Assim, o ciclo repete-se continuamente, mantendo-se, mais ou menos, constante a quantidade de água no globo terrestre.

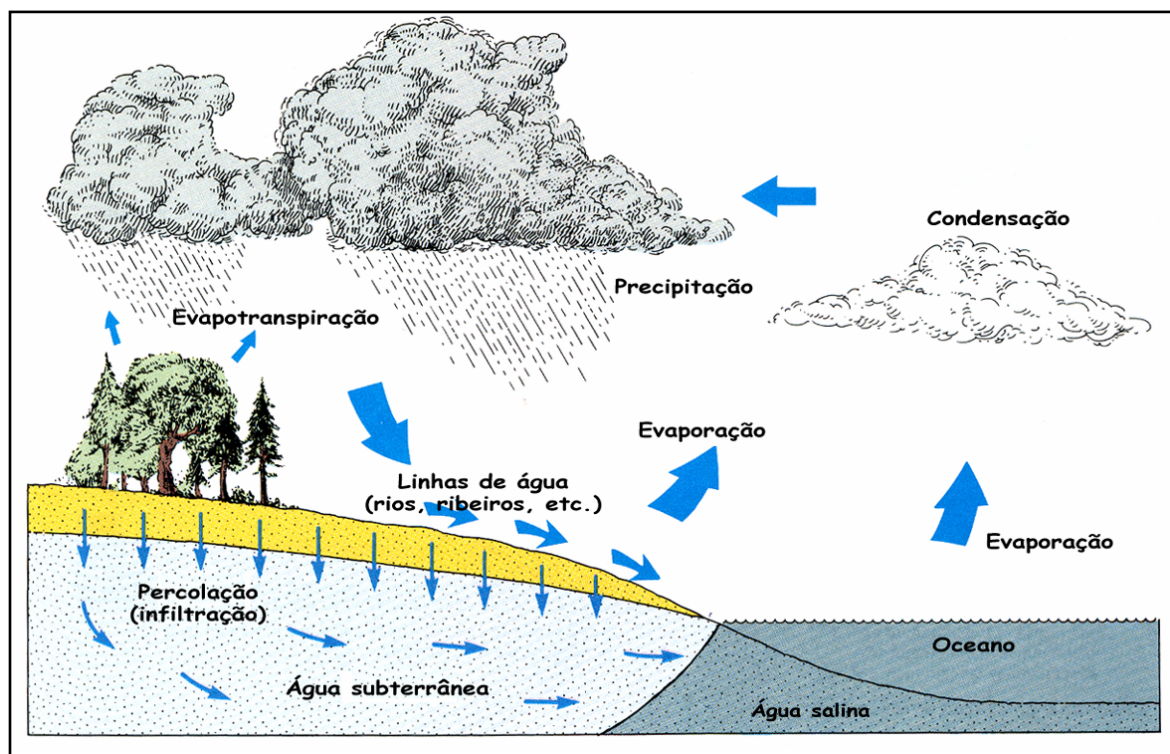


Figura 1. O ciclo hidrológico: os percursos da água (adaptado de Plummer & McGeary, 1996).

O quadro 1 apresenta a distribuição da água no planeta Terra em termos de volume armazenado nos diferentes reservatórios (Nace, 1967).

Quadro 1. Distribuição da água no globo terrestre (adaptado de Nace, 1967).

Reservatórios	Volume aproximado de Água (km³)	Valores aproximados de água total (%)
Oceanos	1 320 000 000	96.1
Glaciares	29 000 000	2.13
Água subterrânea	8 300 000	0.61
Lagos	125 000	0.009
Mares interiores	105 000	0.008
Humidade do solo	67 000	0.005
Atmosfera	13 000	0.001
Rios	1 250	0.0001
Volume de água total	1 360 000 000	100%

O Homem necessita de 2,5 a 3 litros de água por dia, incluindo a que está contida nos alimentos. Além desta necessidade como ser vivo, o Homem utiliza enormes quantidades de água em diversas actividades, permitindo-lhe assim uma maior comodidade e uma melhor sobrevivência. A água não é só utilizada em fins domésticos mas é também essencial para o desenvolvimento industrial e agrícola. No quadro 2 apresentam-se alguns dados que mostram a importância da água em diversos sectores (Brassington, 1998).

Quadro 2. Quantidade de água necessária para os diferentes sectores (adaptado de Brassington, 1998).

Quantidade de água necessária (litros)	
Uso doméstico:	
Beber (por pessoa/dia)	2 – 3
Banho	80 – 170
Lavagem à máquina (por carga)	70 – 110
Rega de jardim durante uma hora	1000 – 1300
Necessidade diária/pessoa	135
Animais – necessidades diárias:	
Vaca	50
Cavalo	50
Carneiro	8
Aves domésticas (por 100 pássaros)	25
Porco	15
Cultura de alimentos:	
1Kg arroz	4500
1Kg açúcar	1000
1Kg batatas	550
Indústria:	
1Kg (litro) cerveja	6 – 10
1Kg papel	15 – 40
1Kg alumínio	1500
1Kg fertilizante	600

1.2. Enquadramento e objectivos

Neste trabalho é perspectivada, numa abordagem multidisciplinar, uma avaliação hidrogeológica e ecotoxicológica da qualidade da água subterrânea do maciço granítico de Paranhos (sector Arca d'Água-Rua Nova do Regado, cidade do Porto). Este estudo foi realizado ao longo de uma galeria subterrânea, com aproximadamente 1km, bem como uma área superficial envolvente da mesma. A referida galeria corresponde a um tramo da rede de túneis da cidade relativa ao antigo manancial de Paranhos, o qual constituiu, durante mais de cinco Séculos, uma das principais fontes de abastecimento de água da população da cidade do Porto (e.g., Bourbon e Noronha, 1885; Ferreira da Silva, 1889; Fontes, 1908; Amorim & Pinto, 2001). Actualmente, a maior parte desta rede de túneis encontra-se sob a tutela da Empresa Águas do Porto, EM (ex-Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento (SMAS-Porto)).

O presente trabalho envolveu os seguintes tópicos: i) pesquisa bibliográfica exaustiva (regional, local e da especialidade) para a definição dos métodos de trabalho e dos objectivos do mesmo; ii) sistematização de critérios a verificar no reconhecimento à superfície, nomeadamente a definição de uma área de influência, a identificação no terreno das potenciais fontes de contaminação e a elaboração de fichas de inventário de campo; iii) trabalho de campo, englobando o reconhecimento, a cartografia e a recolha de amostras para análises físico-químicas e ecotoxicológicas.

O presente estudo tem como objectivos principais:

- a caracterização hidrogeológica básica e a análise das potenciais fontes de contaminação da área envolvente ao denominado Manancial de Paranhos (cidade do Porto), compreendendo não só a inventariação das fontes como também perceber a sua influência na contaminação das águas subterrâneas;
- a caracterização e a avaliação ecotoxicológica, para rastreio da toxicidade química, da água subterrânea, em meio fissurado, do Manancial de Paranhos no sector Arca d'Água-Rua Nova do Regado.

Esta avaliação foi efectuada através da realização de bioensaios padronizados de toxicidade aguda com *Daphnia magna*.

Os trabalhos de campo decorreram, fundamentalmente durante os meses de Novembro de 2005 a Junho de 2006, totalizando vinte dias de campo englobando trabalho de reconhecimento, de colheita de amostras de água nos subterrâneos do Porto e de inventariação das principais fontes de contaminação à superfície. Em alguns trabalhos de campo recebeu a colaboração da colega Clara Seabra (ISEP). Os trabalhos de ecotoxicologia foram realizados no Laboratório de Ecotoxicologia do Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR), sob a coordenação da Professora Catedrática Doutora Lúcia Guilhermino.

O presente trabalho integra os principais dados geológicos e hidrogeológicos de Fernandes (2005), de Vieira (2005), de Seabra (2006), de Afonso (*in prep.*) desenvolvidos no quadro da investigação em curso do projecto GROUNDURBAN (POCTI/CTE-GIN/59081/2004), donde a presente dissertação também se integra como um contributo para o sector de Arca d'Água-Rua Nova do Regado (manancial de Paranhos). No âmbito da presente dissertação colaborou-se ainda, como co-autora, nos seguintes trabalhos científicos: Afonso et al. (2006,a,b, 2007) e Guimarães et al. (2006).

2. HIDROGEOLOGIA APLICADA

2. Hidrogeologia aplicada

2.1. Formações aquíferas

As formações da zona saturada com características para armazenar água são geralmente designadas por formações aquíferas (Custodio & Llamas, 2001). Uma formação geológica para ser classificada como aquífero deve conter poros, fissuras e/ou cavidades cársticas, ou seja, espaços vazios, que permitem a circulação e a mobilidade da água. Desta forma, sob o ponto de vista textural (figura 2), os aquíferos podem ser classificados em (IGM, 2001; González de Vallejo et al., 2002):

- **Porosos**, quando a água circula através de poros que constituem o reservatório geológico e de que o exemplo típico são as areias e cascalheiras dos depósitos aluvionares;
- **Fissurados**, quando o reservatório geológico apresenta fissuras e fracturas de origem mecânica mais ou menos contínuas, como é o caso das rochas graníticas e dos xistos;
- **Cársticos**, quando as acções mecânicas e químicas geram cavidades de dissolução as quais, em limite, havendo continuidade hidráulica, constituem cursos de água subterrâneos. Estes reservatórios são característicos de rochas solúveis, nomeadamente, calcários e dolomias.

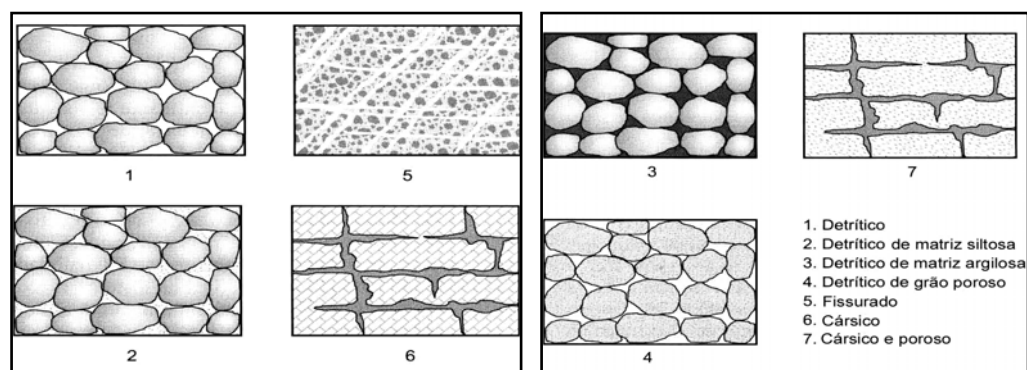


Figura 2. Tipos de aquíferos de acordo com a sua textura (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

De acordo com as suas características estruturais e hidráulicas, os aquíferos podem ser classificados, em três tipos (e.g., Custodio & Llamas, 2001; Fetter, 2001; González de Vallejo et al., 2002):

- **Aquífero:** Formação geológica com capacidade de armazenar e transmitir a água (permite a sua circulação) e cuja exploração é economicamente rentável.
- **Aquitardo:** Formação geológica que pode armazenar água mas que transmite lentamente não sendo rentável o seu aproveitamento a partir de poços.
- **Aquicludo:** Formação geológica que pode armazenar água mas não transmite (a água não circula).
- **Aquífugo:** Formação geológica impermeável que não armazena nem transmite água.

Por seu turno, os aquíferos podem ser classificados, de acordo com as suas características estruturais e hidráulicas (González de Vallejo et al., 2002), em três tipos (figura 3):

- **Aquífero livre:** Formação geológica permeável e parcialmente saturada de água. É limitado na base por uma camada impermeável. O nível da água no aquífero está à pressão atmosférica.
- **Aquífero confinado:** Formação geológica permeável e completamente saturada de água. É limitado no topo e na base por formações impermeáveis. A pressão da água no aquífero é superior à pressão atmosférica.
- **Aquífero semi-confinado:** Sistema físico integrado por um aquífero superior bem alimentado, uma camada semi-permeável ou aquitardo e um aquífero inferior semi-confinado; a diferença de níveis entre o aquífero superior e o inferior acarreta uma transferência de água na vertical que alimenta o aquífero inferior.

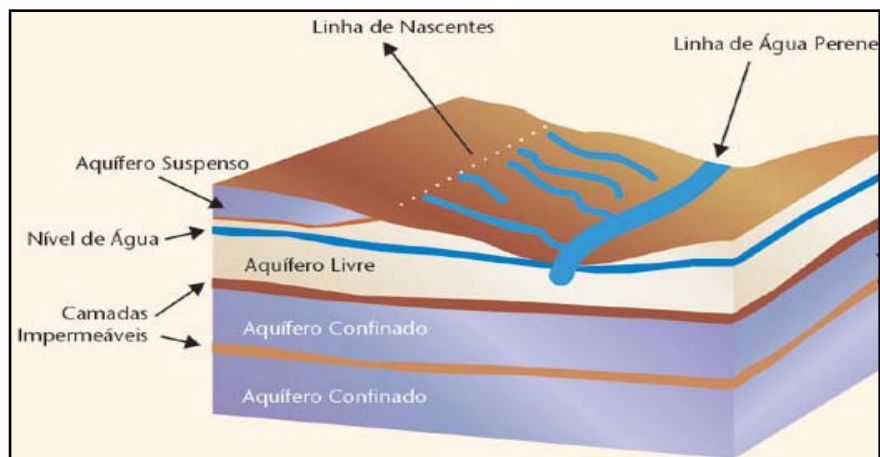


Figura 3. Tipos de aquíferos (IGM, 2001).

As formações impermeáveis nem sempre apresentam a continuidade observada na figura 3, podendo ser irregulares e descontínuas, funcionando igualmente como estruturas confinantes (figura 4).

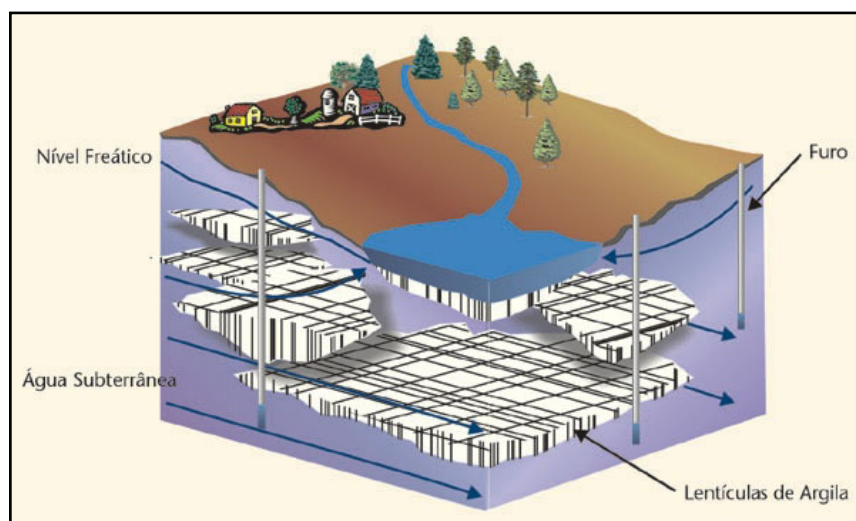


Figura 4. Níveis argilosos descontínuos confinantes (IGM, 2001).

A existência de água subterrânea nas formações geológicas, pressupõe que estas sejam porosas e permeáveis, de forma que a água consiga circular através das mesmas.

O conceito de porosidade é estático, correspondendo à razão entre o volume de vazios (poros) e o volume total da rocha. A designação de poros aplica-se, fundamentalmente, a materiais não consolidados (e.g., cascalheiras) ou materiais detríticos consolidados (e.g., arenitos). Em formações rochosas cristalinas, como é o caso dos granitóides, os espaços vazios resultam, essencialmente, da fracturação (diaclasses e falhas) e da alteração.

Por outro lado, a permeabilidade ou condutividade hidráulica é um conceito dinâmico, que se expressa como uma velocidade, podendo ser definida como a capacidade do meio rochoso em deixar fluir a água através das suas cavidades ou vazios. Esta capacidade depende da conexão e/ou da abertura dos poros, os quais condicionam a passagem da água através das formações. Uma formação muito porosa pode ser muito permeável se os seus poros são grandes e bem interconectados, tal como sucede nas areias limpas, ou pode ser quase impermeável se, apesar de ter muitos poros, estes forem pequenos e se encontrarem semi-fechados, como sucede nas argilas ou em certos materiais vulcânicos.

A permeabilidade da matriz rochosa é intergranular e a água transmite-se através dos poros e microfissuras interconectados da rocha, definindo-se como permeabilidade primária. Em geral, as formações de baixa porosidade tendem a ser pouco permeáveis uma vez que as conexões entre os poros são difíceis de estabelecer, como sucede nas rochas metamórficas e nas ígneas.

Nos maciços rochosos, a água flui essencialmente, através das superfícies das discontinuidades (diaclasses, falhas), definindo-se como permeabilidade secundária. Em geral, a permeabilidade da matriz rochosa é desprezável no que diz respeito ao maciço rochoso fracturado, com excepção de algumas rochas porosas, como os arenitos, nas quais o fluxo da água se pode efectuar através da própria matriz rochosa.

O fluxo da água num maciço rochoso fracturado depende da abertura das discontinuidades, a qual por sua vez depende do esforço normal exercido sobre elas, e a sua interacção. Este esforço aumenta com a profundidade e a partir de

um determinado nível as discontinuidades aparecem fechadas, resumindo-se a permeabilidade do maciço ao da matriz rochosa.

2.2. Caracterização físico-química e outras propriedades da água

Na síntese a seguir apresentada sobre a caracterização físico-química e outras propriedades da água seguiu-se de perto os trabalhos de Custodio & Llamas (2001), Fetter (2001) e, especialmente, o trabalho de referência sobre a temática em epígrafe de Mendes & Oliveira (2004).

COR

A cor pode ser definida como a capacidade de absorver certas radiações. A cor da água em estudo depende, essencialmente, das soluções que nela estão dissolvidas ou suspensas, quer sejam orgânicas quer sejam inorgânicas. A água pura tem uma cor azulada; se contiver ferro pode ter uma cor avermelhada e, se contiver manganês, assume cor negra.

TURVAÇÃO OU TURBIDEZ

A turbidez ou turvação é a maior ou menor dificuldade da água para transmitir a luz. A turbidez deve-se à quantidade de substâncias coloidais e dos materiais muito finos com dificuldades em sedimentar e filtrar.

CHEIRO OU ODOR

É uma propriedade que corresponde à aptidão de produzir a sensação de cheiro e está dependente do sabor, do teor e do tipo de sais que estão dissolvidos na água e da existência de substâncias em solução ou em suspensão. O cheiro da água é um parâmetro muito subjectivo porque depende da sensação do operador. A água não tem qualquer cheiro; caso ele exista é um indicativo de que a água poderá estar poluída ou contaminada. O odor pode ser produzido pelas bactérias ou por substâncias químicas como os fenóis.

SABOR

Tal como o odor, o sabor depende da sensibilidade do operador, logo é um parâmetro subjectivo. É uma propriedade da água que corresponde à aptidão de produzir a sensação de gosto e está dependente do odor, do teor e do tipo de sais que estão dissolvidos na água e da existência de substâncias em solução ou em suspensão.

TEMPERATURA

É um parâmetro importante porque tem influência na composição química da água. A temperatura também tem influência na qualidade da água, no que respeita à quantidade de sais e gases solubilizados, à dissolução de substâncias que podem ser dissolvidas, ao aumento da condutividade eléctrica e na avaliação de parâmetros, tão importantes, como o pH.

A temperatura das águas subterrâneas é muito pouco variável e corresponde à média anual das temperaturas atmosféricas do local, incrementado com o produto da profundidade pelo gradiente geotérmico (1°C por cada 33m). A temperatura afecta a viscosidade da água, a capacidade de absorção dos gases, etc.. A temperatura pode ser determinada com recurso a um termómetro e pode ser medida no aquífero ou em amostras à superfície. As principais fontes de calor da água são o sol e o gradiente geotérmico, mas existem também as reacções químicas exotérmicas e as desintegrações radioactivas. Quando as águas da chuva se infiltram tendem a criar um equilíbrio térmico com a temperatura da rocha atravessada.

No quadro 3 apresentam-se os limites estabelecidos na legislação, nacional e comunitária para águas de consumo humano.

Quadro 3. Valores de temperatura fixados pela legislação em vigor (Mendes & Oliveira, 2004).

Normas Nacionais (°C)		Normas comunitárias (°C)		Valor indicativo da OMS (°C)
DL 236/98		Directiva 80/778/CEE	Directiva 98/83/CE	
VMR 12°C		NG 12°C	—	—
VMA 25°C		VMA 25°C		

VMR: valor máximo recomendável; VMA: valor máximo admissível; NG: nível guia

pH

O pH é a medida da acidez ou alcalinidade da água e é representado pela concentração de iões de hidrogénio. O pH é definido através da expressão:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

A escala de pH varia entre 0 a 14. A uma temperatura de 25°C, para um valor de pH igual a 7 a água é neutra; para um pH menor do que 7, a água é ácida e para valores de pH superiores a 7, a água é básica ou alcalina.

O quadro 4 resume os limites de pH impostos pela legislação em vigor para água de consumo humano.

Quadro 4. Valores de pH fixados pela legislação em vigor (Mendes & Oliveira, 2004).

Normas Nacionais (Unid. Sørensen)		Normas comunitárias (Unid. Sørensen)		
DL 236/98	DL 243/01	Directiva 80/778/CEE	Directiva 98/83/CE	Valor indicativo da OMS (Unid. Sørensen)
VMR 6,5 - 8,5 VMA 9,5	VP 6,5≤pH≤9,0	NG 6,5 ≤ pH ≤ 8,5 VMA ---	NG 6,5 ≤ pH ≤ 8,5	6,5 ≤ pH ≤ 8,5

VMR: valor máximo recomendável; VMA: valor máximo admissível; VP: valor paramétrico; NG: nível guia.

CONDUTIVIDADE ELÉCTRICA

A condutividade eléctrica é a facilidade da água para conduzir a corrente eléctrica e está directamente ligada ao teor de sais dissolvidos sob a forma de iões. Assim, com a determinação da condutividade eléctrica é possível avaliar aproximadamente a salinidade da água. A condutividade eléctrica varia muito com a temperatura, aumentando com a quantidade de iões dissolvidos. A determinação da condutividade eléctrica no campo é efectuada com o auxílio de um condutivímetro portátil.

Os valores, fixados pela legislação nacional e comunitária, para os limites da condutividade eléctrica da água para consumo humano, apresentam-se no quadro 5.

Quadro 5. Valores de condutividade eléctrica fixados pela legislação em vigor para uma água de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).

Normas Nacionais ($\mu\text{S/cm}$)		Normas comunitárias ($\mu\text{S/cm}$)		Valor indicativo da OMS
DL 236/98	DL 243/01	Directiva 80/778/CEE	Directiva 98/83/CE	
VMR 400 VMA ---	VP 2500	NG 40 VMA ---	VP 2500	---

VMR: valor máximo recomendável; VMA: valor máximo admissível; VP: valor paramétrico; NG: nível guia

A condutividade eléctrica das águas normais de consumo situa-se na gama dos 200 a 1000 $\mu\text{S/cm}$. A qualidade da água pode ser avaliada de acordo com o quadro 6.

Quadro 6. Classificação da mineralização e da qualidade das águas de acordo com a condutividade eléctrica (Mendes & Oliveira, 2004).

Condutividade eléctrica	Mineralização	Qualidade da água
<100 µS/cm	Muito fraca	Excelente
100 - 200 µS/cm	Fraca	Excelente
200 - 400 µS/cm	Pouco acentuada	Excelente
400 - 600 µS/cm	Média	Boa
600 - 1000 µS/cm	Importante	Utilizável
>1000 µS/cm	Excessiva	Difícilmente utilizável
>1500 µS/cm	Excessiva	Não utilizável na rega

MATERIAIS EM SUSPENSÃO

É a quantidade de materiais suspensos na água e que sedimentam ou que podem ser retidos por um filtro. Pode ser medida fazendo com que o sedimento passe num decantador e fique aí retido ou, em alternativa, pesar o resíduo que cai no filtro depois de seco.

PROPRIEDADES SINGULARES DA ÁGUA

Para se poder catalogar a água como potável ou imprópria para consumo devem ser satisfeitas as seguintes condições:

- *Qualitativas:* não ter cheiro, não ter sabor, não se alterar com o tempo e, em repouso, não deixar depósito;
- *Quantitativas:* 5,0 <pH> 8,5; teor em cloretos <150 mg/l; teor em nitratos <1,5 mg/l; teor em matéria oxidante expressa em oxigénio <2,0 mg/l; resíduo seco <1000 mg/l; não deve conter amoníaco e bactérias patogénicas; entre outros.

A existência de algumas destas substâncias e a eliminação de outras concedem à água certas qualidades, tais como:

- *Qualidades Químicas:* aquando da sua infiltração e circulação a água, com o seu poder de dissolução, vai acumulando vários sais minerais. O teor em substâncias dissolvidas deriva do tipo de rochas que a água

atravessa; as águas das regiões calcárias são muito mineralizadas, enquanto que as águas de regiões arenosas são pouco mineralizadas;

- *Qualidades Bacteriológicas:* enquanto a água circula pelas rochas sobrevém uma filtração que certifica a pureza da água. A operação de filtragem é muito mais eficiente nas formações arenosas e nas aluviões do que em terrenos fissurados. É, essencialmente, na zona de aeração que se verifica a purificação da água e a destruição de bactérias por oxidação ou por acção de outros organismos que delas se alimentam;
- *Qualidades Térmicas:* as águas subterrâneas com pouca profundidade são bastante influenciadas pelas temperaturas do solo. A temperatura da água, localizada a poucas dezenas de metros de profundidade, é mais ou menos constante e análoga à temperatura da superfície; já a temperatura da água que se encontra a alguma profundidade sofre influência do gradiente geotérmico (1°C por cada 33m); assim, os aquíferos profundos poderão conter água quente.

ANIÕES

Apresentam-se de seguida alguns dos principais aniões constituintes das águas subterrâneas.

CLORETOS

Os cloretos (Cl^-) representam um dos sais mais abundantes na natureza, especialmente na água do mar, embora nas águas superficiais apresentem um teor médio inferior a 50 mg/L. Este teor varia com a natureza dos terrenos atravessados, com as condições climáticas, com a contaminação por efluentes industriais, com a intrusão salina nos aquíferos costeiros (devido a processos de bombagem excessiva ou equivalentes), e ainda à entrada de água do mar nos rios, na sequência das marés. A origem dos cloretos pode ainda resultar da dissolução de depósitos de sal-gema, da contaminação originada pela aplicação

de cloreto de sódio nas estradas para controlar a neve, das águas de drenagem de zonas irrigadas (fertilizantes e outros), entre outras. Os catiões associados ao anião cloreto são, predominantemente, o sódio, o potássio e o cálcio. Os limites estabelecidos para o ião cloreto, pela legislação em vigor, apresentam-se no quadro 7.

Quadro 7. Valores fixados na legislação em vigor para água de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).

Normas Nacionais (mg/L)		Normas comunitárias (mg/L)		Valor indicativo da OMS (mg/L)
DL 236/98	DL 243/01	Directiva 80/778/CEE	Directiva 98/83/CE	
VMR 25	VP 250	NG 25	VP 250	250

VMR: valor máximo recomendável; VP: valor paramétrico; NG: nível guia.

SULFATOS

No que diz respeito aos sulfatos (SO_4^{2-}), a sua concentração nas águas naturais é muito variável (30-300 mg/L), por razões geológicas ou outras. Os catiões associados são, em geral, o cálcio, o magnésio e o sódio, cujas solubilidades são muito diversas. Os contributos industriais têm origens diversas e podem ser importantes, destacando-se o caso dos efluentes das indústrias de curtumes, têxteis, produção de pasta de papel, tratamentos de superfície, entre outros. Os valores fixados pela legislação em vigor, para efeitos de consumo humano, constam do quadro 8.

Quadro 8. Valores de sulfatos fixados pela legislação em vigor para águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).

Normas Nacionais (mg/L)		Normas comunitárias (mg/L)		Valor indicativo da OMS (mg/L)
DL 236/98	DL 243/01	Directiva 80/778/CEE	Directiva 98/83/CE	
VMR 25 VMA 250	VP 250	NG 25 CMA 250	VP 250	400

VMR: valor máximo recomendável; VMA: valor máximo admissível; VP: valor paramétrico; NG: nível guia; CMA: concentração máxima admissível

BICARBONATOS

Os bicarbonatos (HCO_3^-) podem ser obtidos a partir da alcalinidade da água, a qual é uma medida da sua capacidade de neutralização de ácidos. Além dos bicarbonatos, a alcalinidade depende de outros compostos, tais como os carbonatos, os boratos, os fosfatos, entre outros. Os valores de alcalinidade estão intimamente associados à dureza, sendo ambos expressos em equivalentes de carbonato de cálcio. No caso das águas naturais, variam entre 10 a 350 mg/L. O Decreto-Lei nº 236/98, referente à qualidade da água para consumo humano não faz referência aos valores limite para os bicarbonatos.

NITRATOS

Os nitratos (NO_3^-) são um poluente importante das águas superficiais e subterrâneas. Dada a sua solubilidade, e por constituírem as formas azotadas onde o estado oxidativo é máximo, é lógico que, nas águas subterrâneas, os nitratos constituam a forma usual de acumulação. Daí a ocorrência de teores que podem atingir níveis elevados em aquíferos em regiões onde a agricultura intensiva é praticada. Igualmente em regiões onde o solo é contaminado por águas residuais domésticas ou de criação animal, a conversão biológica pode levar à formação de nitratos que se infiltram em profundidade e se acumulam nos aquíferos. Os teores em nitrato das águas superficiais, assim como os das águas subterrâneas, aumentam em função das quantidades de fertilizantes azotados

aplicados ao solo e dos efluentes e resíduos industriais, agrícolas e domésticos aí descarregados, que vão sendo objecto de processos degradativos, em condições aeróbias e oxidativas. Os limites estabelecidos pela legislação em vigor para as águas de consumo humano são os que se apresentam no quadro 9.

Quadro 9. Valores de nitratos fixados pela legislação em vigor para águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).

Normas Nacionais (mg/L NO ₃)		Normas Comunitárias (mg/L NO ₃)		Valores indicativos da OMS (mg/L N)
DL 236/98	DL 243/01	Directiva 80/778/CEE	Directiva 98/83/CE	
VMR 25	VP 50	NG 25	VP 50*	10**
VMA 50		CMA 50		

* $\frac{\text{Nitratos}}{50} + \frac{\text{Nitritos}}{3} \leq 1$

** Valor guia em mg/L de N. A sua conversão em nitratos corresponde, pois a 44 mg/L de NO₃

VMR: valor máximo recomendável; VMA: valor máximo admissível; VP: valor paramétrico; NG: nível guia; CMA: concentração máxima admissível

NITRITOS

Os nitritos (NO₂⁻) correspondem a produtos da oxidação do azoto amoniacal ou da redução dos nitratos. Na água, em condições oxidativas normais, a conversão dos nitritos é quase imediata. A sua presença na água deverá, por isso, ser pontual e instantânea. Os limites estabelecidos pela legislação em vigor para as águas de consumo humano são os que se apresentam no quadro 10.

Quadro 10. Valores de nitritos fixados pela legislação em vigor para águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).

Normas Nacionais (mg/L)		Normas Comunitárias (mg/L)		Valores indicativos da OMS (mg/L)
DL 236/98	DL 243/01	Directiva 80/778/CEE	Directiva 98/83/CE	
VMR ---	VP 0,5	NG ---	VP 50*	---
VMA 0,1		CMA 0,1		
$* \frac{\text{Nitratos}}{50} + \frac{\text{Nitritos}}{3} \leq 1$				

VMR: valor máximo recomendável; VMA: valor máximo admissível; NG: nível guia; VP: valor paramétrico; CMA: concentração máxima admissível

CATIÕES

Os principais catiões constituintes das águas subterrâneas encontram-se seguidamente descritos.

CÁLCIO

O cálcio (Ca^{2+}) é o catião mais abundante nas águas de consumo, nomeadamente sob a forma de bicarbonatos, mas também de sulfatos e outros sais. O cálcio é o principal responsável pela dureza da água e o seu teor, quando elevado, reflecte-se na formação de depósitos de carbonato de cálcio, os quais podem causar problemas ao nível da lavagem, da cozedura de alimentos ou da circulação de água quente. Os limites estabelecidos pela legislação, em vigor para as águas de consumo humano, são os que se apresentam no quadro 11.

Quadro 11. Valores de cálcio em normas de qualidade da água para consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).

Normas Nacionais (mg/L)		Normas Comunitárias (mg/L)		Valor indicativo da OMS (mg/L)
DL 236/98	DL 243/2001	Directiva 80/778/CEE	Directiva 98/83/CE	
VMR 100 VMA ---	---	NG 100	---	É apenas indicado um valor guia da dureza, por razões não ligadas à Saúde Pública

VMR: valor máximo recomendável; VMA: valor máximo admissível; NG: nível guia.

MAGNÉSIO

O magnésio (Mg^{2+}) constituiu cerca de 2% da crosta terrestre e, devido a esse facto e à grande solubilidade de muitos dos seus sais, pode atingir níveis elevados em algumas áreas naturais, em função da natureza geológica dos terrenos com que essas águas contactaram. As águas naturais contêm, em regra, teores em magnésio variáveis entre 5 a 10 mg/L, sob a forma de carbonatos e bicarbonatos. O magnésio constitui, tal como o cálcio, um dos factores determinantes da dureza da água. A fixação das normas de magnésio dependem da dureza a que está associado, embora geralmente com menor incidência do que no caso do cálcio. Os limites estabelecidos pela legislação, em vigor para as águas de consumo humano são os que se apresentam no quadro 12.

Quadro 12. Valores de magnésio em normas de qualidade da água para consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).

Normas Nacionais (mg/L)		Normas Comunitárias (mg/L)		Valor indicativo da OMS (mg/L)
DL 236/98	DL 243/2001	Directiva 80/778/CEE	Directiva 98/83/CE	
VMR 30 VMA 50	---	NG 30 CMA 50	---	Valor fixado de forma indirecta, através da dureza

VMR: valor máximo recomendável; VMA: valor máximo admissível; NG: nível guia; CMA: concentração máxima admissível

SÓDIO

O sódio (Na^+) é um elemento alcalino muito abundante na crosta terrestre (cerca de 2,8%). As águas de consumo têm, em regra, teores em sódio inferiores a 50 mg/L mas têm sido observadas doses superiores, em geral na sequência de intrusões salinas, contaminando as águas brutas. O sódio, sob a forma de cloreto de sódio, é um bom indicador da intrusão salina em águas subterrâneas. Os limites estabelecidos pela legislação em vigor para as águas de consumo humano são os que se apresentam no quadro 13.

Quadro 13. Valores de sódio fixados pela legislação em vigor para águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).

Normas Nacionais (mg/L)		Normas Comunitárias (mg/L)		Valor indicativo da OMS (mg/L)
DL 236/98	DL 243/01	Directiva 80/778/CEE	Directiva 98/83/CE	
VMR 20 VMA 150	---	NG 20 CMA 150	---	---

VMR: valor máximo recomendável; VMA: valor máximo admissível; NG: nível guia; CMA: concentração máxima admissível

POTÁSSIO

O potássio (K^+) é um metal alcalino que existe naturalmente nas águas, em concentrações mais ou menos constantes, variáveis, contudo, com os contextos geológicos envolventes. Podem ocorrer contaminações das águas, em resultado de descargas de indústrias extractivas, de fábricas de fertilizantes, fabrico de vidro, etc. Tal como o magnésio e cálcio, o potássio constitui um dos factores determinantes da dureza da água. Os limites estabelecidos pela legislação em vigor para as águas de consumo humano são os que se apresentam no quadro 14.

Quadro 14. Valores de potássio fixados pela legislação em vigor para águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).

Normas Nacionais (mg/L)		Normas Comunitárias (mg/L)		Valor indicativo da OMS (mg/L)
DL 236/98	DL 243/2001	Directiva 80/778/CEE	Directiva 98/83/CE	
VMR 10	---	NG 10	---	---
VMA 12		CMA 12		

VMR: valor máximo recomendável; VMA: valor máximo admissível; NG: nível guia; CMA: concentração máxima admissível

AZOTO AMONICAL

O azoto amoniacal pode aparecer na água na forma iónica (NH_4^+), ou na forma não ionizada (amoníaco, NH_3). O azoto amoniacal presente na água provém, geralmente, de processos degradativos de materiais residuais de origem vegetal ou animal. O equilíbrio entre a forma iónica (NH_4^+) e a forma gasosa (NH_3) depende das condições do ambiente aquático, nomeadamente do pH e da temperatura. Daí que em regra o seu teor na água seja inferior a 0,2 mg/L. As águas subterrâneas não apresentam, normalmente, teores elevados em azoto amoniacal, sendo um valor anormal indício de eventuais processos de contaminação orgânica, de origem humana ou industrial. Os limites estabelecidos pela legislação em vigor para as águas de consumo humano são os que se apresentam no quadro 15.

Quadro 15. Valores de azoto amoniacal fixados pela legislação em vigor para águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004).

Normas Nacionais (mg/L)		Normas Comunitárias (mg/L)		Valores indicativos da OMS (mg/L)
DL 236/98	DL 243/2001	Directiva 80/778/CEE	Directiva 98/83/CE	
VMR 0,05	VP 0,5	NG 0,05	0,5 (parâmetro indicador)	—
VMA 0,5		CMA 0,5		

VMR: valor máximo recomendável; VMA: valor máximo admissível; VP: valor paramétrico; NG: nível guia; CMA: concentração máxima admissível

SÍLICA

Relativamente à sílica (SiO_2), esta apresenta-se na água, quer no estado solúvel, quer no estado coloidal, em concentrações variáveis que podem atingir algumas dezenas de mg/L, em especial em zonas graníticas. A solubilidade da sílica depende da temperatura e do pH, pelo que os valores variam com o local e com o clima da região. Quer a legislação portuguesa, quer a comunitária não fixam valores de sílica, não só pelo desconhecimento das consequências negativas sérias dos níveis possíveis, como também, pela sua variabilidade geológica e climática. A única recomendação feita para as águas destinadas ao consumo humano é a de que não produza acções negativas sobre a saúde dos consumidores, quer directa quer indirectamente.

2.3. Diagramas hidroquímicos

A representação da análise química de uma água pode ser feita recorrendo a diversas representações gráficas para representar a sua tipologia química (e.g., Lafuente, 1969; Sanders, 1988; Fetter, 2001). O Diagrama de Piper é um diagrama trilinear no qual são projectadas as concentrações, em percentagem de mili-equivalentes por litro (meq/L), dos principais aniões e catiões (figura 5). Este diagrama permite classificar a fácies hidroquímica de uma água de acordo com o

expresso na figura 6. Recorrendo a este diagrama pode saber-se directamente se, por exemplo, uma água tem uma mistura de dois ou mais componentes. É possível, igualmente, determinar se uma água é derivada de outra por adição de um determinado constituinte.

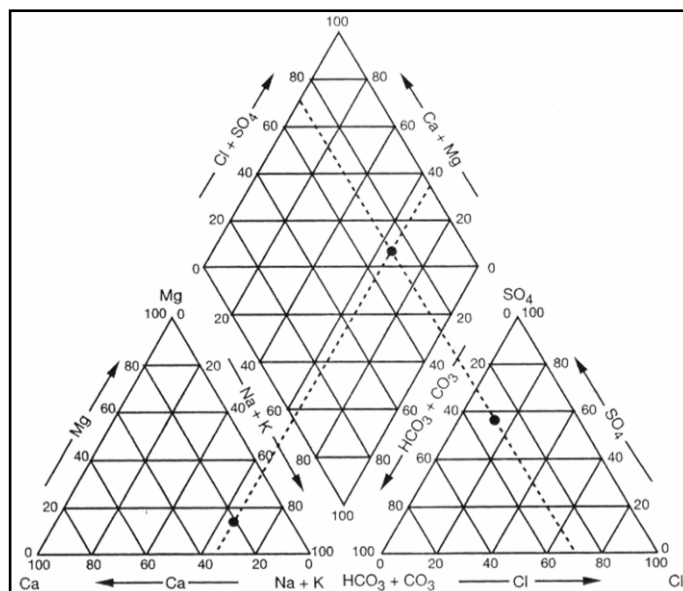


Figura 5. Diagrama de Piper (Sanders, 1988).

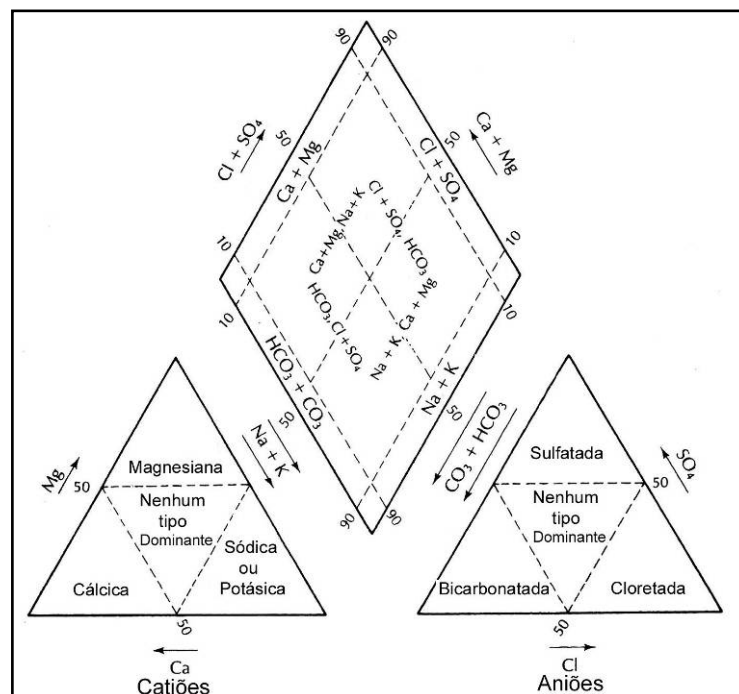


Figura 6. Fácies hidroquímicas (adaptado de Fetter, 2001).

Um segundo tipo de representação gráfica é o Diagrama de Stiff (Stiff, 1951), no qual se projectam, em quatro eixos horizontais paralelos, quatro catiões para a esquerda do zero (Na + K, Ca, Mg e Fe) e quatro aniões para a direita do zero (Cl, HCO₃, SO₄ e CO₃). As concentrações dos iões referidos são implementadas da mesma forma que no diagrama de Piper, *i.e.*, % meq/L., assumindo a projecção uma figura fechada de forma poligonal (figura 7). O diagrama de Stiff é muito útil para comparar diversos tipos de águas, especialmente muito mineralizadas e é um gráfico ideal para representar a análise hidroquímica de uma água em mapas.

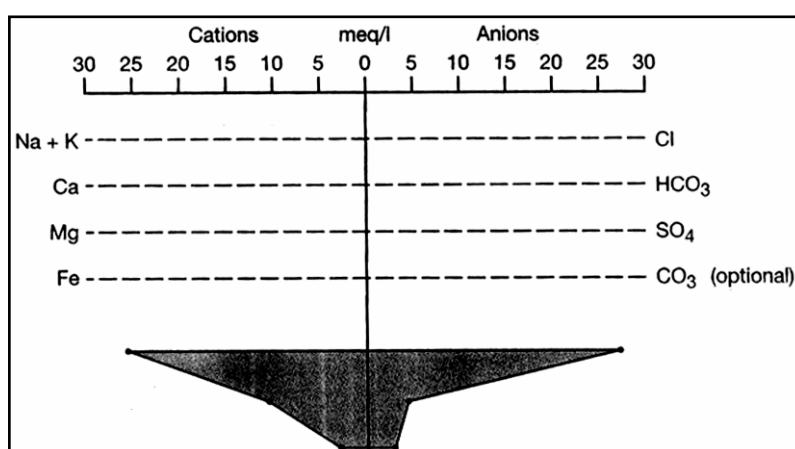


Figura 7. Diagrama de Stiff (Sanders, 1998).

O Diagrama de Wilcox é muito utilizado para a classificação das águas para rega (figura 8). As variáveis utilizadas neste diagrama são a condutividade eléctrica, expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$, e a taxa de adsorção de sódio (TAS), determinada através da expressão:

$$\text{TAS} = \frac{\text{Na}^+}{[(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2]^{1/2}}$$

representando-se as concentrações de Na, Ca e Mg, em meq/L.

O diagrama permite estabelecer 8 grupos, a saber:

- C1 – Água de baixa salinidade
- C2 – Água de salinidade média
- C3 – Água de salinidade elevada
- C4 – Água extremamente salina
- S1 – Baixo conteúdo em sódio
- S2 – Médio conteúdo em sódio
- S3 – Elevado conteúdo em sódio
- S4 – Conteúdo muito elevado em sódio

De acordo com os valores obtidos, classificam-se as águas em 16 grupos, segundo os perigos que podem apresentar para a salinização e a alcalinização dos solos a irrigar.

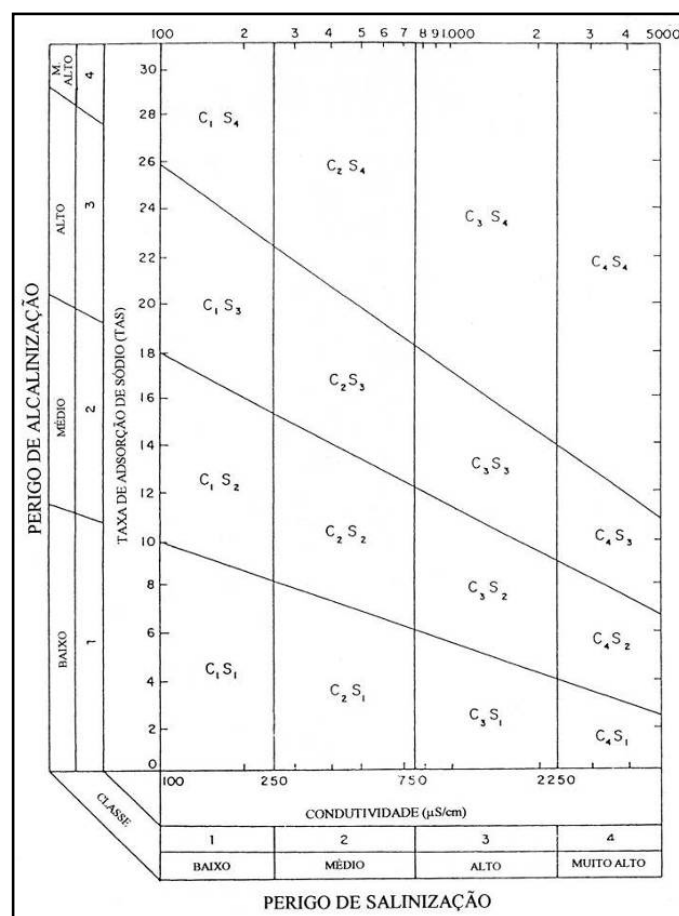


Figura 8. Diagrama de Wilcox (adaptado de Pedrosa, 1999).

2.4. Breves tópicos sobre hidrogeologia de maciços rochosos fissurados

Uma descontinuidade é uma entidade geológica que interrompe a continuidade física de uma dada unidade geológica. A importância da caracterização destas entidades é elevada, uma vez que modificam a homogeneidade do maciço rochoso, influenciando assim as propriedades geomecânicas do mesmo, como a deformabilidade, a permeabilidade e a resistência ao corte. Em mecânica das rochas a designação de descontinuidade é usada para descrever a maior parte das superfícies estruturais, de um dado maciço, que apresentam uma resistência à tracção relativamente baixa (ISRM, 1978, 1981). Porém, é de salientar que esta definição pode, por vezes, arcar um carácter mais restritivo em geologia estrutural (Ramsay & Huber, 1983, 1987), pois é habitual designar-se como foliação uma superfície anisotrópica planar de origem tectónica; esta superfície assume distintas designações com o aumento do grau tectonometamórfico, como por exemplo: clivagem ardosífera, clivagem de crenulação, clivagem de fractura, xistosidade, foliação gnáissica e milonítica.

As descontinuidades podem ser agrupadas em diversos tipos, considerando-se, comumente, em geologia aplicada dois tipos (e.g., ISRM, 1978; González de Vallejo et al., 2002): i) Descontinuidades planares: planos de estratificação, planos de laminação, planos de xistosidade, diaclases, falhas, diques, filões e discordâncias estratigráficas; ii) Descontinuidades lineares: lineações de intersecção de foliações e lineação mineral.

As descontinuidades planares de um maciço rochoso fissurado, tais como falhas e fracturas *sensu lato*, são encaradas como um meio de transporte singular para a movimentação de águas subterrâneas e de fluidos hidrominerais. Do ponto de vista metodológico esta abordagem é correcta, mas deve-se ter em conta o comportamento hidrogeológico, em função da sua génese e tipologia, idade, unidades geológicas e tipo de água procurado (figura 9).

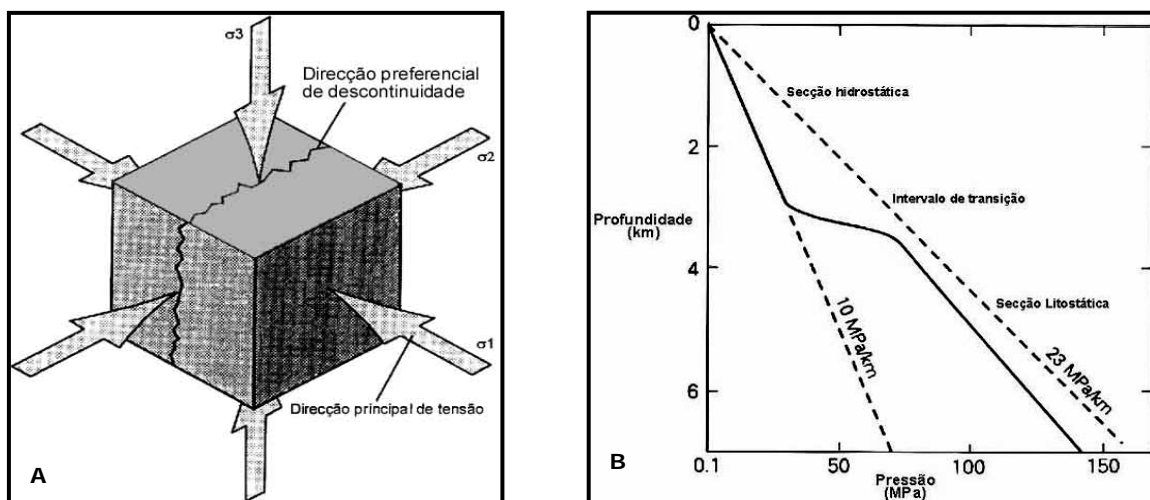


Figura 9. Aspectos geológico-estruturais e hidrogeomecânicos relacionados com as descontinuidades; **A)** Bloco diagrama esquemático mostrando a direcção preferencial dos planos de descontinuidade sujeitos a um campo de tensões, com $\sigma_3 \geq \sigma_2 \geq \sigma_1$; **B)** Perfil esquemático relacionando a pressão hidroestática com a profundidade (adaptado de Ingebritsen & Sanford, 1998).

A implantação sistemática de sondagens de pesquisa e/ou eventual captação sobre zonas fracturadas (falhas s.l.) é discutível. A apuração dos locais para a sondagem deve ser precedida de uma pesquisa criteriosa do comportamento hidrogeológico das descontinuidades e a sua implicação na quantidade e qualidade da água, das características de vulnerabilidade e risco, das dificuldades de perfuração e mesmo da acessibilidade aos equipamentos (e.g., Brassington, 1998; Fetter, 2001). Desta forma, aquando da selecção dos locais para a implementação das sondagens deve-se atender aos seguintes aspectos:

- a comparação das zonas do traço cartográfico de uma estrutura fracturada com a topografia regional mostra que estas correspondem quase sempre ao local de cota mais baixa. As zonas mais fracturadas, logo, tendencialmente, mais produtivas, são analogamente as zonas de maior vulnerabilidade e risco de contaminação;
- os ensaios de caudal e a monitorização em diversos campos hidrotermais situados no Maciço Antigo Português — substrato cristalino pré-Varisco e/ou Varisco do Maciço Ibérico (e.g., Carvalho, 2006) — demonstram que o caudal de exploração a prazo não é

controlado pela transmissividade principal ao longo das fracturas maiores mas por descontinuidades menores associadas aquelas;

- em muitas falhas e lineamentos tectónicos, confirmadas muitas vezes no terreno e/ou fotointerpretadas e ilustradas nos mapas geológicos, nomeadamente, nas escalas 1/50000 e 1/20000, o núcleo é argiloso, eventualmente com grande porosidade e controlador de fortes anomalias de baixa resistividade. No entanto, a função transmissiva é irrelevante e, nessas condições, os caudais de exploração são muito pequenos. Noutros casos, correspondentes a falhas compressivas e em estruturas tectónicas sem movimentação aparente actual, a porosidade e permeabilidade são muito baixas porque não há descontinuidades circuladas (e.g. Carvalho, 1984, 2006);
- rochas extremamente fracturadas, e por vezes fortemente alteradas, induzem grandes dificuldades à perfuração com martelo de fundo de furo (e.g., Carvalho, 1984, 2006). Este método que corresponde a uma variante da percussão pneumática (por alguns designado por rotopercussão), é quase exclusivo, hoje em dia, em todo o mundo, no desenvolvimento de recursos hídricos subterrâneos em rochas compactas e fissuradas. Nestes casos são inevitáveis operações como entubamentos parciais, cimentações, mudança de método de perfuração ou mesmo o abandono da perfuração. É muito negativo o impacto destes problemas na economia dos projectos.

Para a implementação de uma captação sobre uma estrutura reconhecidamente produtiva do tipo de descontinuidade, nomeadamente falha, filão-falha ou filão, ou contacto-falha é fundamental uma boa informação da geometria do conjunto de descontinuidades do maciço rochoso (figuras 10 e 11). A aquisição desta informação deve-se, eventualmente, da campanha de sondagens de pesquisa prévia, bem como de estudos geológicos do terreno, de tectónica regional e de geofísica. Normalmente considera-se que num maciço de rochas cristalinas e cristalofílicas a percolação, armazenamento e exurgência de

água subterrânea se faz ao longo das discontinuidades, situação que corresponde a uma permeabilidade do tipo fissurado.

A maior parte das formações geológicas, em particular as rochas cristalinas (designadas vulgarmente por “rochas duras” ou “hard-rocks”) são caracterizadas por apresentarem discontinuidades de diversos tipos e géneses (*e.g.*, diaclases, falhas, etc.). Como efeito da fracturação é habitual a existência de blocos perfeitamente individualizados por planos de fractura visíveis macroscopicamente. Quando há indícios de movimento de um plano em relação ao outro são classificados como falhas, quando não se verifica a existência de tal movimento designam-se por diaclases.

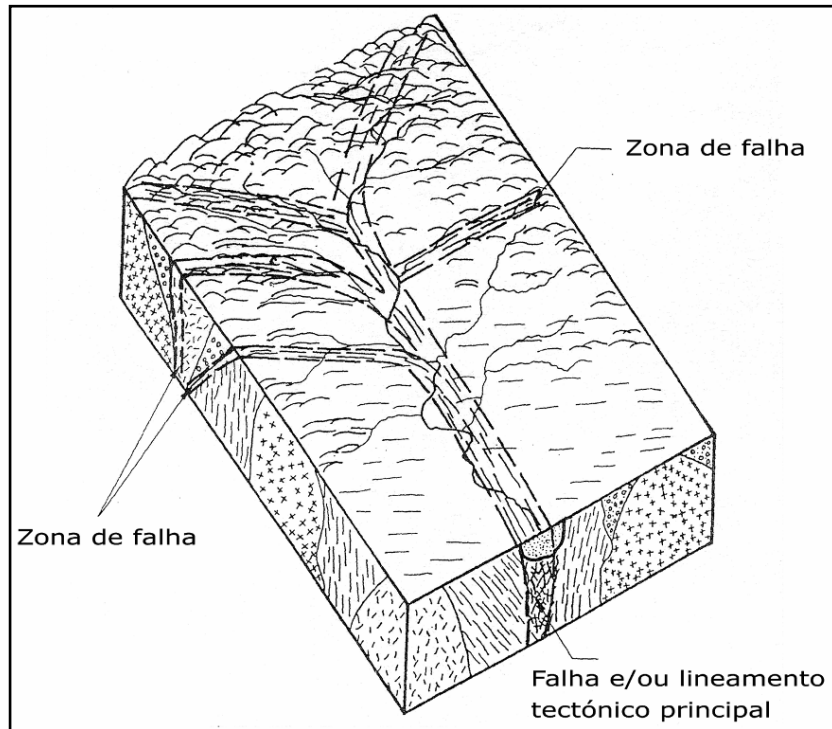


Figura 10. Esquema ilustrativo da direcção de drenagem devido a uma falha e/ou lineamento tectónico principal (adaptado de Bisson & Lehr, 2004).

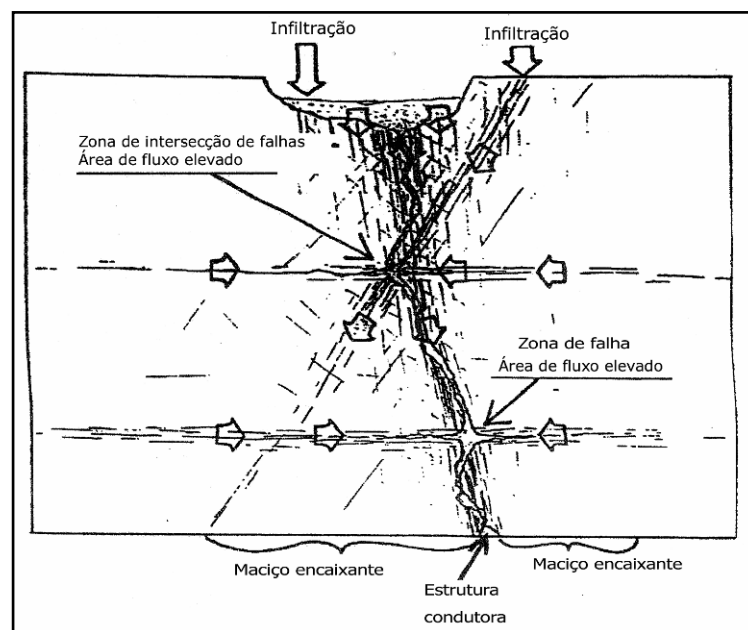


Figura 11. Perfil transversal interpretativo de uma zona de uma falha; ilustra também a relação do fluxo com o grau de fracturação. As setas mostram a direcção do fluxo da água subterrânea (adaptado de Bisson & Lehr, 2004).

Para além da fracturação dos maciços outro aspecto pertinente na caracterização geológico-geotécnica é o grau de alteração da matriz rochosa. A alteração de uma rocha consiste na desagregação e decomposição levadas a cabo por agentes físicos e químicos naturais, que transformam essa rocha noutra produto natural, agora em equilíbrio físico-químico com o meio ambiente (e.g., Aires-Barros, 1991). O conceito de alterabilidade difere da noção de alteração devido ao facto de o primeiro ser um conceito dinâmico e o conhecimento da composição mineralógica e petrográfica do material rocha, que é fundamental para a sua previsão. Por seu turno, a alterabilidade é a maior ou menor facilidade com que uma rocha se altera, no transcorrer da vida de uma dada obra.

Os principais tipos de alteração responsáveis pela deteriorização das rochas são a alteração deutérica, primária ou hipogénica – fenómenos como a caulínização, a cloritização, a silicificação, a serpentização e a greisenização são exemplos deste tipo - e a alteração meteórica, secundária ou supergénica, intrinsecamente relacionada com acções físico-químicas, como a dissolução, a hidratação, a oxidação, a redução e a hidrólise. Especialmente no caso das rochas graníticas em climas temperados a meteorização designa-se por arenização, caracterizando-se por uma alteração do tipo esquelético, não sendo visível uma alteração da estrutura original da rocha-mãe, comportando-se, em termos geotécnicos, como solos residuais.

A alteração deutérica reporta-se a transformações, na generalidade metassomáticas e/ou hidrotermais, das rochas, originadas nos períodos tardios da diferenciação magmática. Assim, é usual existirem testemunhos e “cuttings” de sondagens de profundidade relativamente elevada com um grau de alteração avançado, pelo menos maior do que em amostras de troços superiores dessa mesma sondagem. Tal facto, na maioria dos casos, deve-se à alteração deutérica e não a qualquer acção de meteorização (Aires-Barros, 1991).

A *International Society of Rock Mechanics* (ISRM, 1978, 1981) propôs uma classificação do grau de alteração (“weathering classification”) do maciço para estudos de geologia aplicada (quadro 16).

Quadro 16. Classificação do grau de alteração (ISRM, 1978).

Sigla	Designação	Caracterização
W ₁	Rocha sã ou não alterada	Não se observam sinais de alteração na matriz rochosa.
W ₂	Rocha ligeiramente alterada	Mudanças na cor original da matriz rochosa (descoloração).
W ₃	Rocha moderadamente alterada	Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo, mantendo-se a petrofábrica original.
W ₄	Rocha muito alterada	Mais de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo, a rocha é muito friável.
W ₅	Rocha completamente alterada	Todo o material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo residual.

Do ponto de vista prático é muitas vezes usado na caracterização e descrição do maciço uma classificação dos graus de alteração simplificada, em virtude da intrínseca ambiguidade dos limites sugeridos, ou seja, os graus de alteração resumem-se a W₁₋₂, W₃ e W₄₋₅.

2.5. Qualidade da água subterrânea e contaminação

A qualidade da água subterrânea refere-se às suas características físicas, químicas e biológicas e a sua relação com o fim a que a água se destina. A qualidade da água subterrânea é ameaçada, principalmente, pela actividade do Homem, embora algumas substâncias prejudiciais possam ser, por vezes, introduzidas por processos naturais (Zaporozec, 2004). O termo contaminação é segundo a Organização Mundial de Saúde (UNESCO, 1992): a introdução na água de qualquer substância indesejável que a água normalmente não contém (e.g. microorganismos, químicos, etc.), a qual torna a água imprópria para o fim a que se destina.

Este capítulo bem como os seguintes seguiram de perto os trabalhos de Foster et al. (2002), de Kovalevsky et al. (2004) e de Zaporozec (2004).

A qualidade da água subterrânea e a sua possível contaminação está intimamente relacionada com a vulnerabilidade dos sistemas de água subterrânea face às possíveis contaminações.

A introdução desta abordagem surgiu, no final dos anos 60 do Século XX, por Jean Margat (Vrba & Zaporozec, 1994) e baseava-se, fundamentalmente, na ideia de que um sistema de água subterrânea pode conferir um grau de protecção contra contaminações através da “auto-purificação” e da “atenuação natural”. Desta forma, a vulnerabilidade pode ser explicada como a relativa incapacidade do meio subterrâneo para proteger a água das contaminações. A carga de contaminação pode ser definida a partir de algumas características, tais como a persistência, a mobilidade e a resistência da fonte de contaminação (concentração, área de recarga e duração da carga). Contudo, apesar dos progressos levados a cabo neste campo, a modelação da distribuição e do transporte de contaminantes é, ainda, relativamente complexa e dispendiosa.

A gestão sustentável das águas subterrâneas deve basear-se não só em critérios de prevenção contra a sobre exploração mas também na prevenção da sua contaminação.

2.5.1. Mecanismos de contaminação

Para os agentes contaminantes se difundirem no sistema de água subterrânea precisam, necessariamente, de um mecanismo de transporte (e.g. água). Assim, quando o contaminante alcança a zona saturada ou não-saturada o seu destino é determinado por diversos processos (Jackson, 1980), a saber (figura 12):

- Processos físicos: filtração, evaporação, dispersão, etc.;
- Processos geoquímicos: reacções ácido-base, trocas iónicas, oxidação–redução, precipitação–dissolução, etc.;
- Processos bioquímicos: respiração bacteriana, transpiração, etc.

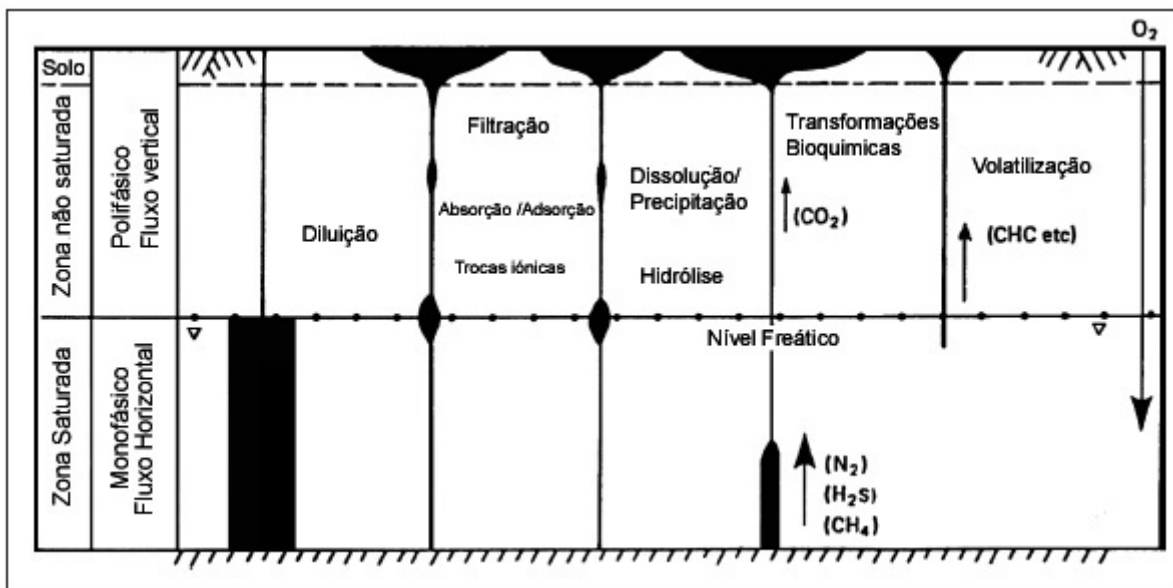


Figura 12. Processos que afectam o transporte de contaminantes (adaptado de Zaporozec, 2004).

A maioria destes processos está relacionada ou interage entre si, servindo alguns deles como atenuantes e exercendo outros um efeito contrário.

2.6. Potenciais fontes de contaminação da água subterrânea

De acordo com Fetter (1993) e Zaporozec & Miller (2000) as causas e as fontes de contaminação da água subterrânea são inúmeras e tão diversas como as actividades humanas. O aumento do número das fontes potenciais de contaminação despontou também a necessidade de as classificar, surgindo dessa forma diversas categorias e métodos (quadro 17).

Quadro 17. Métodos de classificação das fontes de contaminação das águas subterrâneas (Zaporozec, 2004).

Classificação	Exemplos
Pelo modo de libertação	fontes de descarga e de transporte
Pela origem	fontes domésticas e agrícolas
Pelas características químicas	metais pesados; hidrocarbonetos; pesticidas
Pela localização	à superfície; no subsolo
Pelo tipo	fontes pontuais, difusas e lineares

Uma primeira classificação foi desenvolvida pela Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA, 1977). As fontes de contaminação eram divididas em quatro categorias usando como critério a forma como os contaminantes eram libertados. Em 1984, o Departamento de Avaliação Tecnológica dos Estados Unidos (OTA, 1984) reviu esta classificação e expandiu a proposta para seis categorias. A classificação das fontes de contaminação pelas características químicas ou pela localização tem sido considerada por alguns cientistas. A classificação em termos químicos e biológicos pode incluir um amplo rol de categorias tais como compostos orgânicos e inorgânicos, espécies bacteriológicas, entre outros. A classificação baseada no tipo categoriza as fontes em pontuais, lineares e difusas. Nas fontes pontuais os contaminantes estão confinados a uma área restrita, de dimensões bem definidas, como por exemplo as lixeiras. As fontes lineares e difusas espalham os contaminantes ao longo de áreas mais extensas; são exemplos as linhas de água e as estradas.

Por fim, a classificação pela origem é aquela que tem sido mais usada nas últimas décadas. Actualmente, este tipo de classificação alia, frequentemente, o tipo de fonte (e.g. industrial) ao tipo de composto químico. Esta classificação tornou-se bastante popular em países que tiveram um crescimento muito rápido

ao nível da agricultura e da indústria, devido ao facto de ter uma nomenclatura de fácil compreensão e por ser flexível. No quadro 18 apresenta-se esta classificação.

Quadro 18. Síntese das principais fontes de contaminação pela sua origem (adaptado de Zaporozec, 2004).

Categoria	Tipo de fonte	Tipologia	Localização
Fontes Naturais	Substâncias Inorgânicas	não aplicável	não aplicável
	Metais vestigiários		
	Compostos orgânicos		
	Microorganismos		
	Radionuclídeos		
Agricultura e Silvicultura	Fertilizantes	Difusa	Superfície
	Pesticidas	Difusa	Superfície
	Dejectos animais	Difusa / Pontual	Superfície/zona não saturada
	Rações para animais	Pontual	Superfície
	Irrigação	Difusa	Superfície
Urbanização	Lixeiras	Pontual	Superfície/zona não saturada
	Sanitários	Pontual	Superfície/zona não saturada
	Águas residuais, efluentes	Pontual e Linear	Superfície/zona não saturada
	Entulheiras	Pontual	Superfície/zona não saturada
	Fugas de reservatórios subterrâneos	Pontual	Zona não saturada
	Escoamentos, Fugas, Derramamentos	Linear e pontual	Superfície
Indústrias e Explorações mineiras	Resíduos mineiros/Escórias/Escombreyras	Pontual	Superfície/zona não saturada
	Água de mina	Pontual e Linear	Diversas
	Resíduos sólidos	Pontual	Superfície/zona não saturada
	Águas residuais, efluentes	Pontual e Linear	Superfície/zona não saturada
	Poços de injeção	Pontual	Abaixo do nível freático
	Derramamentos, Fugas	Pontual	Superfície
Má Gestão de água	Intrusão salina	Linear	Abaixo do nível freático
	Construção deficiente de poços/furos	Pontual	Abaixo do nível freático
	Poços/Furos abandonados	Pontual	Abaixo do nível freático
	Práticas de irrigação	Difusa	Superfície
Diversos	Fontes transportadas pelo ar	Difusa	Superfície
	Águas superficiais	Linear	Abaixo do nível freático
	Transportes	Pontual e Linear	Superfície/zona não saturada
	Desastres naturais	Pontual e Linear	Superfície/zona não saturada
	Cemitérios	Pontual	Zona não saturada

2.6.1. Uma classificação das fontes de contaminação

As fontes de contaminação são normalmente associadas às actividades humanas (figura 13). Em sintonia com o quadro 18, apresenta-se de seguida uma descrição das principais fontes.

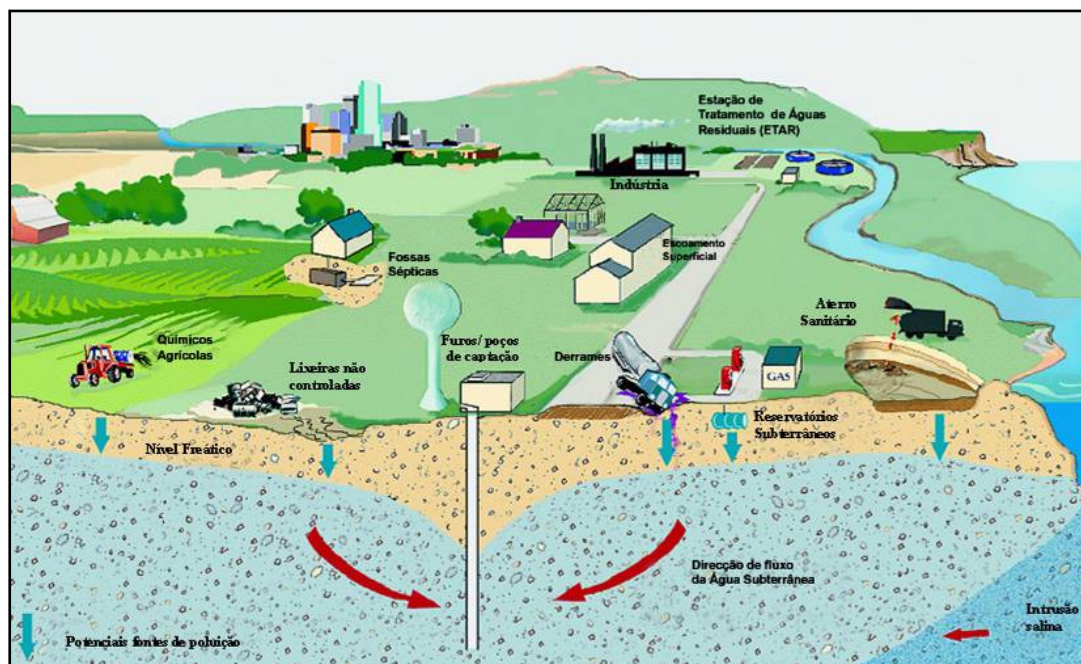


Figura 13. Fontes de contaminação em ambiente urbano (adaptado de Zaporozec & Miller, 2000).

Fontes Naturais

As águas subterrâneas contêm elementos que podem ser considerados como nutrientes e substâncias essenciais aos seres vivos, mas integram também outros elementos com carácter nocivo aos ecossistemas.

As substâncias naturais contaminantes entram, normalmente, no ciclo das águas subterrâneas, através de uma combinação de processos. Por exemplo, a dissolução de minerais contendo elementos tóxicos é coadjuvada, normalmente, por reacções de oxidação-redução. Quer as trocas iónicas, quer as precipitações são processos com influência directa na quantidade de constituintes dissolvidos, os quais podem incrementar ou reduzir a contaminação. Uma outra fonte natural importante é a interacção da infiltração da água com restos de plantas e húmus na zona não-saturada.

Outros processos como a síntese celular, a decomposição orgânica e o crescimento microbiano podem também contribuir para a toxicidade das águas.

As fontes naturais são avaliadas de acordo com o seu carácter químico e bacteriológico. As respectivas concentrações irão determinar se uma determinada fonte pode ser ou não considerada como ameaça à qualidade de água.

Dentro da categorização das fontes naturais, destacam-se aqui apenas as substâncias inorgânicas. Os principais iões inorgânicos nas águas subterrâneas são o sódio, o potássio, o cálcio, o magnésio, a sílica, os bicarbonatos, os sulfatos e os cloretos. A distribuição destes constituintes depende, principalmente, do tipo de formações geológicas atravessadas pela água subterrânea.

A grande maioria destes constituintes não é perniciosa para a saúde (quadro 19), mas pode causar certos inconvenientes se as suas concentrações excederem os valores considerados normais (e.g., sulfato). Elevadas concentrações de cálcio e magnésio aumentam a dureza da água, e altos conteúdos em sódio não são aconselháveis a pessoas com problemas cardíacos.

Quadro 19. Concentrações máximas admissíveis para algumas substâncias potencialmente perniciosas para a água de consumo humano (adaptado de WHO, 1993).

Constituinte	Concentração (mg/L)
Ferro	0,3
Nitrato	50
Arsénio	0,01
Sulfato	250
Zinco	3

AGRICULTURA E SILVICULTURA

A actividade humana que, provavelmente, mais afecta a qualidade da água subterrânea é a agricultura. Esta actividade inclui práticas tais como o cultivo, a criação de gado e aves domésticas, entre outras. O uso de fertilizantes e pesticidas, bem como a deposição de estrumes acarretam, entre outras inúmeras práticas, uma grande ameaça à qualidade das águas subterrâneas. A precipitação e a irrigação são as responsáveis pelo transporte dos contaminantes para o sistema subterrâneo através dum processo de infiltração.

- **Aplicação e armazenamento de fertilizantes e pesticidas**

Os fertilizantes podem ser de origem orgânica ou inorgânica. Os orgânicos são vulgarmente designados por “estrume”; estes contêm potássio, azoto e compostos de fósforo. Os fertilizantes inorgânicos são compostos geralmente por óxidos de potássio (potassa), azoto e compostos de fósforo. A utilização destes serve para enriquecer o solo com potássio, cálcio, nitrato e fosfato. No entanto, quando usados em doses excessivas, quer nos campos quer em pilhas de armazenamento, os fertilizantes inorgânicos podem tornar-se demasiado nocivos.

Os pesticidas incluem herbicidas, insecticidas, fungicidas e outros compostos químicos usados no combate de pragas em campos de cultivo, sendo, maioritariamente constituídos por compostos orgânicos.

O carácter difuso da aplicação de fertilizantes e pesticidas pode contribuir para uma importante contaminação de áreas extensas do sistema de água subterrânea. Desta forma, um bom conhecimento das características físico-químicas e biológicas dos compostos usados bem como da hidrogeologia do local é essencial para determinar o risco que o uso destas substâncias podem representar para a contaminação das águas subterrâneas.

- **Refluxo da água de irrigação**

Este fenómeno é responsável pela deterioração da qualidade da água em vários países, principalmente em regiões secas ou áridas. Quando uma plantação é irrigada, cerca de dois terços da água é absorvida pelo solo ou pelas plantas ou perde-se por evaporação. Contudo, os sais dissolvidos tendem a acumular-se. As boas práticas de irrigação devem ter em atenção o problema dos sais e como tal usam mais água para os poderem lixiviar. O excesso de água vai percolar até à água subterrânea, transportando consigo uma enorme concentração de sais.

URBANIZAÇÃO

A contaminação das águas subterrâneas em meios urbanos é originada por numerosas fontes, nomeadamente a descarga de efluentes domésticos não

tratados, as fossas sépticas e as lixeiras. Os efluentes domésticos contêm sais minerais, matéria orgânica, restos de compostos não biodegradáveis, vírus, microorganismos fecais e estes são muitas vezes lançados nas linhas de água.

- **Lixeiras de resíduos sólidos urbanos**

Os lixos gerados pelas casas particulares, pelos edifícios públicos e pelas indústrias podem ser depositados nas imediações destes locais ou serem recolhidos em lixeiras municipais. Em muitos casos, as lixeiras são descampadas onde não foram tomadas as devidas precauções sanitárias que impeçam a infiltração de lixiviados.

Os lixiviados resultantes da circulação de água através da lixeira, são altamente redutores e enriquecidos em amónia, ferro ferroso, manganês e zinco, para além de apresentarem valores elevados de dureza, do total de sólidos dissolvidos e da concentração de cloreto, sulfato, bicarbonato, sódio, potássio, cálcio e magnésio. A decomposição da matéria orgânica na lixeira origina a produção de gases como o dióxido de carbono e o metano.

Este tipo de contaminação quando atinge o aquífero origina um aumento da mineralização, uma elevação da temperatura, o aparecimento de cor, sabor e odor desagradáveis, em suma parâmetros que diminuem a qualidade da água.

- **Águas residuais domésticas**

Em muitas áreas urbanas ainda se procede ao depósito de águas residuais em fossas sépticas e latrinas. As descargas dos dejectos humanos ainda são feitas, em muitos locais, em buracos naturais ou artificiais do solo. Nestes casos, quando não existem condições sanitárias adequadas, estas águas “suja” infiltram-se directamente no subsolo e, naturalmente, desencadeiam um processo de contaminação.

- **Efluentes e redes de saneamento básico**

Na grande maioria das cidades actuais, os efluentes líquidos são colectados e transportados por condutas. Na zona de descarga do sistema os efluentes podem ser tratados, parcialmente tratados ou não terem tratamento. O local de descarga irá depender exactamente das condições que esta apresentar. Normalmente a água sem tratamento é lançada em pequenos lagos ou lagoas artificiais ou mesmo no subsolo com um sistema de linha de água a céu aberto. Como é previsível este acto incrementa o risco uma vez que a água provavelmente infiltrar-se-á e irá contaminar o espaço hídrico subterrâneo.

- **Outras fontes urbanas**

Além das fontes já referidas, existem outras que podem representar uma ameaça à qualidade das águas subterrâneas, tais como as tubagens de saneamento não estanques, o escoamento superficial urbano, os adubos e pesticidas utilizados em jardins e parques, o derrame de depósitos de combustível em estações de serviço e o derramamento de óleos em oficinas de automóveis.

ACTIVIDADES INDUSTRIAIS

A actividade industrial está, inevitavelmente, associada a uma certa degradação do ambiente, uma vez que não existem processos de fabrico totalmente limpos. A perigosidade das emissões industriais varia com o tipo de indústria, com as matérias-primas usadas, com os processos de fabrico, produtos fabricados ou substâncias produzidas.

O desenvolvimento da indústria em Portugal ocorreu sem um correcto planeamento e ordenamento, o que resultou na concentração industrial em áreas geográficas limitadas, provocando casos específicos e localizados de poluição. Deste modo, estas concentrações implicam uma maior vigilância ambiental, exigindo a existência de infra-estruturas adequadas de controlo que combatam os níveis cumulativos de poluição.

As principais origens da poluição industrial são, de um modo geral, as seguintes:

- As tecnologias utilizadas encontram-se, muitas vezes, envelhecidas e são fortemente poluentes, com elevados consumos energéticos e de água;
- A inexistência de sistemas de tratamento adequado dos efluentes e de circuitos adequados de eliminação dos resíduos;
- A localização das unidades industriais na proximidade de áreas urbanas, em solos agrícolas, causando a sua contaminação e prejudicando as culturas, e em zonas ecologicamente sensíveis, perturbando e prejudicando a fauna e a flora;
- A realização de descargas de efluentes em águas subterrâneas ou superficiais, com risco de contaminação das águas de consumo;
- A deposição indevida de resíduos, cuja lixiviação é fonte de poluição do solo e do meio hídrico.

FUROS E POÇOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA

Uma construção deficiente de furos e poços de captação de água é muitas vezes responsável pela contaminação das águas subterrâneas. Por exemplo, quando não existe o cuidado na selagem dos furos, na sua zona mais superficial, é de esperar que os contaminantes que circulem nesta área e possam atingir o sistema de água subterrânea. Outro problema associado é o uso de materiais oxidáveis ou sujeitos a corrosão na construção dos furos, desencadeando processos de degradação nas estruturas, as quais facilitam a entrada de possíveis contaminantes nos aquíferos.

Por outro lado, no caso de poços abandonados, estes funcionam muitas vezes como condutas verticais que transportam substâncias indesejáveis. Quando estes são deixados sem qualquer cobertura são muitas vezes usados para depositar lixo provocando obrigatoriamente a contaminação e a degradação das águas.

OUTRAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Para além das fontes enunciadas anteriormente existem muitas outras, destacando-se aqui os cemitérios.

Os cemitérios podem ser uma fonte geradora de impactos ambientais. A localização e a operação de construção inadequada de necrópoles em meios urbanos podem provocar a contaminação dos recursos hídricos por microrganismos que proliferam no processo de decomposição dos corpos. Se um aquífero for contaminado na área interna do cemitério, esta contaminação poderá fluir para regiões próximas, aumentando o risco de saúde nas populações que venham a utilizar desta água captada através de poços existentes nas imediações. Além disso, em situações de cremações, quando as cinzas são lançadas para uma zona insaturada, permanecem durante muitos anos e fomentam a contaminação.

Examinadas as principais fontes de contaminação convém igualmente fazer uma breve abordagem acerca dos principais contaminantes associados. A contaminação é exactamente o reflexo da libertação de certos elementos nocivos ao ambiente e algumas actividades tem maior predisposição para libertar determinados contaminantes específicos, consoante o fim a que se destinam (quadro 20).

Quadro 20. Fontes de poluição e respectivos contaminantes (adaptado de Foster et al., 2002).

Fonte de Poluição	Tipo de Contaminantes
Actividades agrícolas	Nitratos, amónia, pesticidas, coliformes fecais
Fossas sépticas	Nitratos, hidrocarbonetos, microorganismos
Estações de serviço e Oficinas de automóveis	Hidrocarbonetos, benzeno, fenóis
Lixeiras	Amónia, salinidade, hidrocarbonetos, metais pesados
Indústrias Metalúrgicas	Hidrocarbonetos, fenóis, metais pesados, cianeto
Trabalhos com tintas e esmaltes	Hidrocarbonetos, metais
Indústria de madeiras	Hidrocarbonetos
Lavandarias	Tricloroetileno
Fabrico de pesticidas	Hidrocarbonetos, fenóis, arsénio
Aplicação de lamas e lodos de saneamento	Nitratos, hidrocarbonetos, chumbo, zinco

2.7. Inventário das fontes de contaminação

O inventário das fontes de contaminação é um processo minucioso e sistemático onde as potenciais ameaças à qualidade das águas subterrâneas podem ser avaliadas. Este processo engloba várias etapas sequenciais, que se descrevem de seguida.

Primeiramente, elabora-se um inventário preliminar meramente indicativo de contaminantes, tendo em conta a área a estudar e, principalmente, o objectivo do projecto com base nas exigências e necessidades. Esta etapa envolve, obrigatoriamente, um trabalho prévio de gabinete e consequentemente uma pesquisa exaustiva de informação que permitirá organizar um inventário primário. O objectivo e dimensão do trabalho dependerão do tempo e dos recursos humanos e financeiros disponíveis.

Numa segunda etapa, procede-se a uma organização do inventário onde se pretende que estejam garantidas as seguintes condições:

- Seleccionar a base cartográfica de trabalho;
- Elaborar uma lista provisória de potenciais fontes de contaminação;
- Identificar as fontes de informação e registar os endereços e outros contactos para posterior confirmação no terreno;
- Escolher os métodos de identificação das fontes de contaminação;
- Preparar as fichas de inventário;
- Providenciar os equipamentos necessários (GPS-*Global Positioning System*, máquina fotográfica, carro, etc.);
- Escolher o sistema de processamento e registo dos dados;
- Discutir a forma de apresentação dos resultados;
- Solicitar autorizações para entrar em propriedades privadas;
- Notificar as autoridades locais acerca da condução do inventário, para evitar problemas de suspeição da parte das pessoas inquiridas.

Neste tipo de trabalho é muito importante tentar uniformizar os dados recolhidos para que a sua posterior análise não levante quaisquer dúvidas e seja a mais rigorosa possível.

Os métodos de identificação das fontes de contaminação (figura 14) permitem não só localizá-las, mas também distinguir a sua influência e dessa forma poder fazer, posteriormente, ponderações de zonas de maior risco.

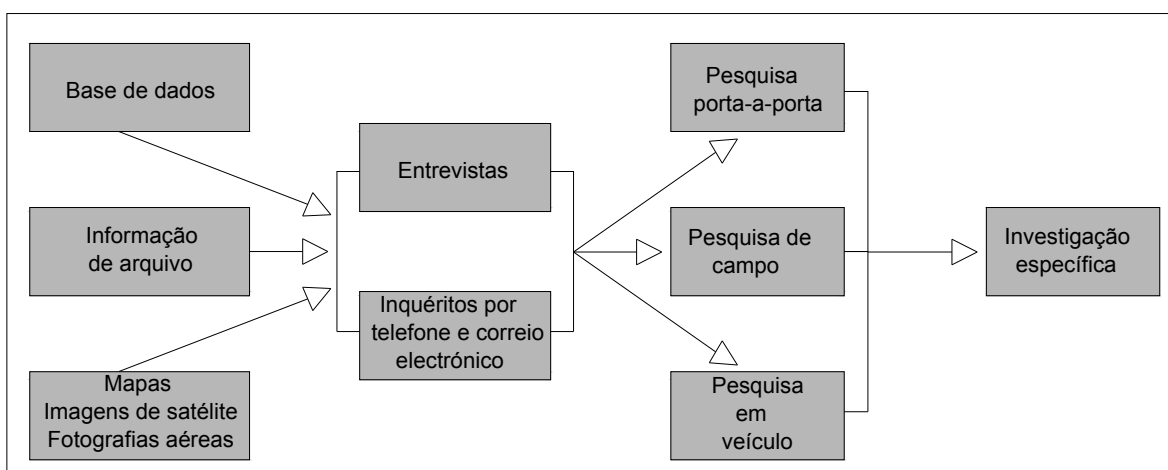


Figura 14. Sequência dos métodos utilizados para a identificação das fontes de contaminação (adaptado de EPA, 1991).

Depois de estar completa a fase de gabinete inicia-se o reconhecimento no terreno, verificando-se a validade de toda a informação recolhida e completando-a.

Nesta fase é importante fazer uma observação directa das potenciais fontes e estabelecer contacto com algumas pessoas da área que possam ter conhecimento de dados que não são imediatamente reconhecíveis. Quando o projecto tem um prazo de execução mais alargado é comum fazerem-se questionários e averiguações pormenorizadas porta-a-porta.

Depois de finalizada esta etapa verifica-se toda a informação recolhida e elabora-se uma primeira classificação com ponderações acerca da influência de cada uma das fontes inventariadas.

De uma forma sucinta, a elaboração de um inventário deste tipo é feita atendendo aos seguintes procedimentos:

-
- Definição dos objectivos;
 - Recolha de dados e informações já existentes;
 - Elaboração de um plano de trabalhos;
 - Avaliação dos recursos necessários, nomeadamente financeiros e humanos;
 - Reconhecimento no terreno;
 - Recolha e análise da informação, quer por observação directa, quer por amostragem, se necessário;
 - Apresentação dos resultados com elaboração duma cartografia.

2.8. Cartografia aplicada às fontes de contaminação

A cartografia das fontes de contaminação das águas subterrâneas representa uma cartografia sintética que integra informações hidrogeológicas, devidamente explícitas para garantir a sua compreensão a todas as pessoas interessadas. Pretende fundamentalmente informar acerca da distribuição da sensibilidade do território à potencial contaminação derivada das actividades humanas. Em termos sucintos, as utilidades mais significativas são as seguintes:

- Representa uma ajuda eficaz para os poderes públicos e agentes de intervenção na identificação dos riscos potenciais para as águas subterrâneas devido aos factores que considera - reconhecimento das áreas susceptíveis de contaminação e das áreas adequadas para o desenvolvimento de actividades que acarretem riscos de contaminação, por possuírem poder auto-depurador do meio hidrogeológico.
- Pode contribuir para uma análise integrada junto de outras variáveis territoriais e ambientais.

Convém assinalar que neste tipo de documentos cartográficos a informação proporcionada tem um carácter meramente orientador e é fruto da

integração de diversas variáveis, o que implica alguma perda de informação durante o processo de homogeneização. A questão fulcral na cartografia é definir o método da sua execução recorrendo-se actualmente aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Aplicação de um Sistema de Informação Geográfica

Os Sistemas de Informação Geográfica podem hoje ser utilizados nos mais variados mercados e indústrias, oferecendo aos seus utilizadores dados geográficos e ferramentas de análise espacial.

As técnicas e as metodologias dos SIG combinadas com a análise de dados obtidos por detecção remota têm-se revelado ferramentas poderosas no domínio das geociências (tectónica, geomorfologia, hidrogeologia, geofísica, geoquímica, etc.) e das engenharias (geotecnia, minas, civil, território, ambiente, etc.).

Os SIG tornaram-se, ao longo desta última década, numa ferramenta imprescindível para um número crescente de estudos ambientais. Actualmente é impensável não se recorrer à construção de um SIG em estudos que envolvam entradas e saídas de dados de natureza cartográfica, o que se justifica não só pelas suas capacidades gráficas, mas, sobretudo, pelas suas potencialidades analíticas. De facto, os SIG são a ferramenta ideal para isolar, descrever relações espaciais e elaborar modelos estatisticamente testáveis (Walker, 1990; Haslett, 1990).

Funcionam como ferramentas importantes na selecção de locais de amostragem, para além de outras aplicações (e.g. geração de variáveis e delineamento experimental), contribuindo para a optimização do esforço dispendido no terreno. Através de técnicas de análise multivariada, como a observação de análise estatística, é possível, por exemplo, procurar regiões homogéneas, segundo essas variáveis (passíveis de serem cartografadas).

Os SIG permitem compatibilizar a informação proveniente de diversas fontes, como a informação de sensores espaciais (detecção remota), informação recolhida com GPS ou obtida com os métodos tradicionais da topografia.

Os modelos mais comuns em SIG são o modelo matricial (ou raster) e o modelo vectorial. O modelo de SIG matricial centra-se nas propriedades do espaço, compartimentando-o em células regulares (habitualmente quadradas, mas podendo ser rectangulares, triangulares ou hexagonais). Cada célula representa um único valor. Quanto maior for a dimensão de cada célula (resolução) menor é a precisão ou detalhe na representação do espaço geográfico. No caso do modelo de SIG vectorial, o foco das representações centra-se na precisão da localização dos elementos no espaço. Para modelar digitalmente as entidades do mundo real utilizam-se essencialmente três formas espaciais: o ponto, a linha e o polígono. A listagem de software SIG inclui, entre outros, o ArcGIS (Arcview, ArcInfo), o Autocad Map, o MapInfo, o Geomedia e o Autodesk Map.

3. AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

3. Avaliação ecotoxicológica de água subterrânea

3.1. Generalidades

Os efeitos adversos que as substâncias químicas produzem nos organismos vivos, constituem desde há muito motivo de preocupação para o homem. Relatos vários sugerem que as origens da toxicologia – ciência que estuda as propriedades, os efeitos adversos e os mecanismos de acção dos tóxicos nos seres vivos com particular destaque para o homem – remontam, possivelmente, à Antiguidade, às experiências diárias efectuadas pelo Homem na tentativa de encontrar uma dieta favorável (Guilhermino, 1996; Klaassen, 2001). Esta ciência foi evoluindo ao longo dos tempos, tendo sofrido um grande desenvolvimento no século XX, devido a um conjunto de circunstâncias que incluem os progressos efectuados ao nível da Medicina e da Farmacologia, o aumento extraordinário da produção de compostos de síntese e a entrada destes na sociedade. Em consequência do forte aumento quer do número quer da natureza de agentes químicos sintéticos (incluindo compostos para consumo industrial, agrícola, doméstico e clínico), encontram-se hoje em dia no ambiente uma variedade de compostos químicos que são libertados para o meio através das diferentes actividades humanas. Assim, os ecossistemas naturais e as espécies que os compõem estão expostas a inúmeros factores e circunstâncias que não constituem elementos naturais do seu habitat, e são susceptíveis de produzirem uma multiplicidade de efeitos ecológicos adversos (Marti, 2002).

Os primeiros trabalhos de ecotoxicologia incluíam a avaliação dos efeitos tóxicos de pesticidas com insectos e a avaliação da qualidade da água com espécies de dafnia (Rand et al., 1995). Mas, só a partir dos anos 40-50 do século XX é que os eventuais efeitos tóxicos de desperdícios e compostos químicos nos organismos não humanos começaram de facto a constituir um tema de interesse público. Assim, a Ecotoxicologia desenvolveu-se mais intensamente quando se começou a verificar que os pesticidas organoclorados eram persistentes no ambiente, e sobretudo na sequência da consciencialização da opinião pública sobre os potenciais efeitos adversos das substâncias de síntese no Homem, nos

animais e no ambiente (Rand et al., 1995). A Ecotoxicologia foi inicialmente encarada como um ramo da toxicologia, mas foi posteriormente considerada como uma ciência autónoma. Actualmente, a Ecotoxicologia é considerada a ciência que estuda os efeitos tóxicos de agentes químicos e físicos nos organismos vivos, em particular nas populações e comunidades no seio de ecossistemas definidos, incluindo as vias de entrada e transporte dos agentes em causa e a sua interacção com o ambiente (Walker et al., 2001; Newman & Unger, 2002). A Ecotoxicologia é uma ciência multidisciplinar que integra conhecimentos de Ecologia, Química e Toxicologia, com o objectivo de avaliar efeitos ecologicamente relevantes que possam ocorrer a qualquer nível de organização biológica.

3.2. Poluição do meio aquático

Os compostos tóxicos a que os organismos aquáticos sofrem exposição são, em geral, designados por poluentes químicos. Numa perspectiva abrangente, um poluente é considerado um agente físico ou uma substância química que se acumula num determinado ambiente, em níveis estimados como superiores aos que ocorreriam naturalmente, e que tem um efeito prejudicial para os organismos vivos (Martí, 2002). Alguns autores consideram importante a distinção entre os termos “poluente” e “contaminante ambiental”. O primeiro é utilizado para indicar que o composto em questão está a causar efeitos nefastos – alterações bioquímicas e fisiológicas adversas que afectam a taxa de mortalidade, crescimento ou reprodução dos indivíduos – enquanto que o segundo se aplica a situações em que o composto em questão não está a causar um efeito nocivo (Walker et al., 2001; Newman et al., 2002). Para uma grande parte dos compostos químicos orgânicos produzidos pelo Homem qualquer quantidade detectada no ambiente é considerada anormal, uma vez que estes compostos só existem na natureza após aí terem sido expressamente libertados. Para outros compostos químicos, como por exemplo, os metais pesados e os óxidos nitrogenados que ocorrem naturalmente no meio ambiente, essa determinação é mais complexa. Com efeito, a concentração destes compostos pode variar em função do local e

da época do ano, tornando difícil a determinação dos valores normais esperados (Walker et al., 2001). Para além disso, de acordo com o princípio geral da toxicologia de que o nível de toxicidade depende da dose, ou da concentração a que os organismos estão expostos, um composto químico poderá ser descrito como poluente em algumas situações e relativamente a algumas espécies de organismos, e como contaminante relativamente a outras situações, locais e/ou organismos (Klaassen, 2001).

3.2.1. Principais tipos de poluentes aquáticos

Os tipos de poluição a que os ecossistemas aquáticos podem estar expostos são muitos e de natureza variada, nomeadamente física, química e biológica (Cooney, 1995). No quadro 21 estão indicados alguns dos principais contaminantes naturais e de origem antropogénica, e respectiva natureza.

Relativamente à poluição química, um elevado número de compostos, de complexidade molecular variada, pode actuar como poluente aquático (Walker et al., 2001; Klaassen, 2001): i) iões inorgânicos, que incluem vários metais (o cádmio, o chumbo, o zinco e o mercúrio, etc) e aniões (como os nitratos e os fosfatos); ii) poluentes orgânicos; iii) compostos organometálicos; iv) isótopos radioactivos; v) poluentes voláteis, como por exemplo a amónia e o metano. No grupo dos poluentes orgânicos encontram-se, entre outros, os hidrocarbonetos, os insecticidas organoclorados, os insecticidas carbamatos e piretróides, os rodenticidas anticoagulantes, e os detergentes.

Quadro 21. Alguns dos principais contaminantes naturais e de origem antropogénica, e respectiva natureza (adaptado de Walker et al., 2001).

Físicos	Temperatura Radioactividade Partículas em suspensão
Químicos	pH Cloro Sulfatos Fosfatos Oxigénio dissolvido Compostos nitrogenados Metais Detergentes Pesticidas Herbicidas Insecticidas Fungicidas
Biológicos	Matéria Orgânica Microrganismos

3.2.2. Principais vias de entrada de poluentes nos ecossistemas aquáticos

A actividade humana pode levar à entrada de poluentes nos ecossistemas por vias distintas (Walker et al., 2001). Por exemplo, por libertação inadvertida derivada da actividade humana, como é o caso dos acidentes nucleares, extracções mineiras e fogos. Pela libertação de lixos e dejectos domésticos e efluentes industriais não tratados, e pela aplicação deliberada de agentes pesticidas, insecticidas e fungicidas vários para controlo de pragas e dos seus vectores de transmissão. A descarga de águas residuais domésticas e industriais constitui uma das fontes principais de entrada de poluentes nos ecossistemas aquáticos, tanto marinhos como dulciaquícolas. Uma via de entrada não menos importante é constituída pela contaminação dos solos. O tratamento dos solos com fertilizantes, e de espécies agrícolas com insecticidas e fungicidas para controlo de pragas, não só afecta directamente os próprios solos como dá também origem à poluição de águas superficiais e subterrâneas, na medida em

que o solo é o local de escorrência e passagem da água infiltrada da precipitação. De facto, o lóxiado produzido pelas águas pluviais arrasta todas estas substâncias nocivas para os aquíferos. A água subterrânea pode ainda ser afectada por outras actividades humanas como a captação de água e intervenções no ciclo hidrológico decorrentes da impermeabilização e compactação de solos. A contaminação atmosférica pode também influenciar a contaminação de ecossistemas aquáticos, uma vez que as águas pluviais podem arrastar partículas sólidas existentes na atmosfera para os solos e as águas superficiais (Walker et al., 2001; Martí, 2002).

3.3. Bioensaios de toxicidade

A exposição de organismos aos poluentes aquáticos pode causar diferentes efeitos directos tanto nos organismos individuais como em diferentes populações de uma mesma comunidade. Pode, por exemplo, originar taxas de mortalidade elevadas levando ao desaparecimento de algumas espécies da comunidade enquanto que outras espécies da mesma comunidade sofrem poucos ou nenhuns efeitos directos. Os efeitos directos não são, contudo, os únicos com consequências relevantes nos ecossistemas. A perda de um determinado grupo ou espécie de organismos pode ter repercussões graves noutros grupos de organismos. Os poluentes tóxicos de águas residuais podem, por exemplo, destruir as bactérias responsáveis pela biodegradação da matéria orgânica e provocar, em consequência, uma diminuição do nível de oxigénio dissolvido na água. Por outro lado, animais que desenvolvem tolerância aos poluentes podem ter maior facilidade em escapar aos seus predadores constituindo populações maiores no seio da comunidade. Alternativamente, algumas espécies de predadores podem encontrar-se sem presas por estas terem sido eliminadas em consequência da mortalidade provocada pela exposição aos tóxicos (Mason, 2002).

A toxicidade de um composto químico para os organismos aquáticos pode, por isso, ser medida de várias formas. Uma das mais comuns é, então, a exposição de organismos considerados ecologicamente relevantes a soluções de

diferentes concentrações do composto de interesse durante um certo período de tempo. Neste tipo de ensaios, o critério de toxicidade mais comumente avaliado é a morte, embora seja também bastante frequente a medição de parâmetros bioquímicos, fisiológicos e comportamentais, de crescimento e reprodução, ou seja, de efeitos sub-letais. A grande maioria dos bioensaios de toxicidade fornece uma estimativa da concentração que causará uma resposta tóxica de 50%, por exemplo, da concentração média letal (CL50) ou concentração que provoca a morte de 50% dos indivíduos da população nas condições específicas do bioensaio realizado. Em geral, os bioensaios utilizados na determinação deste parâmetro de toxicidade permitem também determinar a concentração de efeito não observado (CENO), que é a concentração mais elevada da substância-teste que não induz um efeito significativamente diferente do observado no grupo controlo, e a concentração de efeito observado (CEO) que é a concentração mais baixa da substância-teste que induz um efeito significativamente diferente do observado no grupo controlo.

Considerando que espécies diferentes podem apresentar vulnerabilidade diferente a um mesmo contaminante, o potencial tóxico dos agentes químicos é habitualmente avaliado através da realização de ensaios com espécies de organismos invertebrados, peixes e mamíferos (Cooney, 1995; Mason, 2002). Num bioensaio de toxicidade, as condições experimentais são cuidadosamente controladas de forma a obter-se uma resposta definida dos organismos teste a um composto específico ou a uma mistura de compostos. Estes bioensaios podem ser de dois tipos principais: agudos ou crónicos (Cooney, 1995; Walker et al., 2001). O objectivo geral destes ensaios é o mesmo, mas existem algumas diferenças baseadas, sobretudo, nas concentrações de exposição, na duração de cada um, e nos efeitos biológicos específicos que se pretende estudar.

Os bioensaios de toxicidade aguda são os mais usados na avaliação da toxicidade dos compostos químicos e efluentes (Guilhermino, 1996). São bioensaios convencionais em que os organismos-teste são expostos a concentrações elevadas do agente tóxico a ser testado, por um curto espaço de tempo (2 a 4 dias) relativamente ao ciclo de vida da espécie, simulando, por exemplo, uma catástrofe que poderá ocorrer num dado local e que envolve a

acumulação de grandes quantidades de tóxico. O parâmetro indicativo de toxicidade mais frequentemente utilizado é a morte, expressa pela CL50 (Cooney, 1995; Guilhermino, 1996; Walker et al., 2001).

Nos bioensaios de toxicidade crónica, outro tipo de bioensaios convencionais, os organismos-teste são expostos a concentrações baixas da substância-teste, durante um período de tempo (3 a 5 semanas) considerado longo relativamente ao ciclo de vida da espécie (Cooney, 1995; Guilhermino, 1996; Walker et al., 2001). Este tipo de bioensaios, tenta, por outro lado, simular as reacções dos organismos a longo prazo, quando sujeitas a concentrações pequenas e contínuas de tóxico, que podem, por exemplo, resultar do lançamento continuado de pequenas porções de pesticida para um lago. Nestes bioensaios avaliam-se efeitos sub-letais como parâmetros indicativos de toxicidade: o número de juvenis produzidos, o número de ovos ou organismos abortados, a inibição de crescimento,... Um ensaio de toxicidade crónica é geralmente iniciado com estados precoces de desenvolvimento como por exemplo um ovo ou zigoto, ou um juvenil recém-nascido (*e.g.*, *Daphnia magna*) e o seu desenvolvimento é seguido até à maturidade sexual e reprodução do organismo (Rand et al., 1995). Estes bioensaios são, contudo, mais dispendiosos e morosos do que os anteriores.

Nas últimas décadas do século XX, desenvolveu-se mais generalizadamente a consciência de que é necessário reduzir a experimentação com animais, o que resultou num grande esforço para desenvolver métodos alternativos aos tradicionais ensaios de toxicidade (Guilhermino, 1996). O uso de ensaios *in vitro* constitui uma das principais alternativas aos bioensaios convencionais. Nestes ensaios não se expõem organismos a um determinado tóxico, mas sim enzimas, suspensões de células ou tecidos. O sistema *in vitro* é normalmente mais fácil de manipular e controlar e ainda mais rápido do que os ensaios de toxicidade aguda (Soares & Calow, 1993 *in* Guilhermino, 1996). Para além disso, este tipo de ensaios reduz as quantidades de agente tóxico a testar, produzindo menor quantidade de desperdícios. Estes ensaios podem ser muito úteis na avaliação de toxicidade de novos compostos ou de efluentes contaminados, embora seja necessária precaução quando se pretende efectuar a

previsão de efeitos nos sistemas *in vivo* a partir dos seus resultados, uma vez que não reflectem uma resposta integrada do organismo como um todo (Guilhermino, 1996).

Os ensaios baseados em biomarcadores representam uma outra alternativa aos ensaios toxicológicos convencionais. Um biomarcador é geralmente definido como uma resposta biológica a agentes químicos ambientais que fornecem uma medida de exposição e por vezes de efeito tóxico (Walker, 2001; Martí, 2002). Esta resposta biológica pode ser bioquímica ou fisiológica e é medida em amostras de tecido e suspensões de células. Os biomarcadores podem ser específicos, quando as respostas biológicas estudadas só ocorrem na presença de poluentes específicos, ou gerais, quando as respostas indicam que há um agente poluente mas não permitem identificar esse agente (Walker et al., 2001; Martí, 2002).

Os termos “biomarcador” e “bioindicador” são muitas vezes utilizados de forma confusa para designar as mesmas situações. Contudo, um bioindicador é um ser vivo, cuja presença, comportamento ou estado fisiológico estão intimamente relacionados com o meio onde vive e se desenvolve, fornecendo por isso indicações úteis relativas à qualidade e características desse meio (Martí, 2002). Por seu lado, um biomarcador corresponde às alterações bioquímicas ou fisiológicas observadas nesse organismo.

Os biomarcadores apresentam a vantagem de serem parâmetros que permitem detectar os efeitos nocivos nos organismos antes que estes possam comprometer o funcionamento do ecossistema, permitindo a elaboração atempada de medidas preventivas ou de remediação (Guilhermino, 1996, Walker et al. 2001).

Os ensaios de avaliação ecotoxicológica podem ser utilizados quer em rastreios de toxicidade química de efluentes ou de novos compostos, quer na monitorização de efluentes para determinar o seu risco para os organismos aquáticos, quer no caso de efluentes poluídos, para determinar qual o composto que está a provocar efeitos directos para que se possam tomar medidas de remediação.

3.3.1. Organismos mais utilizados em ensaios de toxicidade de água doce

A selecção de organismos-teste a utilizar em ensaios de toxicidade deve ter em conta as seguintes características (Rand et al., 1995; Mason, 2002): os organismos devem apresentar um intervalo de sensibilidade amplo a vários compostos ou factores ambientais; devem apresentar distribuição natural ampla e ser abundantes durante todo o ano; devem ser representativas do tipo de ecossistema em estudo, e apresentar quer relevância ecológica, económica ou social, tanto à escala local como nacional; devem ser de fácil cultura laboratorial e passíveis de ser facilmente mantidos em boas condições, saudáveis e não parasitados. A escolha do organismos-teste é importante também para a extrapolação de resultados obtidos por exemplo para outros organismos ou ecossistemas (Rand et al., 1995).

Em águas doces, a toxicidade ambiental é frequentemente avaliada através de ensaios realizados com espécies consideradas representativas de diferentes níveis tróficos do ecossistema em estudo (Walker et al., 2001; Newman & Unger, 2002). Relativamente aos produtores, os organismos de utilização mais comum são algas verdes unicelulares, por exemplo das espécies *Chlorella vulgaris* e *Selenastrum capricornutum*. Como consumidores primários utilizam-se invertebrados como, por exemplo, microcrustáceos das espécies *Daphnia magna* e *Daphnia pulex*. Alguns dos consumidores secundários mais utilizados são os peixes das espécies *Brachydanio rerio* (vulgarmente conhecido por peixe zebra), *Poecilia Reticulata* (ou *guppy*) e *Cyprinus carpio* (carpa) (Cooney, 1995).

A sensibilidade dos indivíduos a um dado contaminante pode ser influenciada por factores como o sexo, a idade ou o tamanho. Para além disso, os estados larvares e juvenis são em geral mais sensíveis aos tóxicos do que os adultos. Assim, os organismos usados são juvenis, pelo facto de estes serem, de um modo geral, mais sensíveis que os organismos mais velhos da mesma espécie. Para além disso, se os juvenis de uma população são afectados, esta tenderá também a diminuir de tamanho por estes morrerem antes de atingirem a idade reprodutiva (Walker et al., 2001). Por outro lado, nunca devem ser usados

nestes ensaios organismos que nas 48 horas precedentes apresentem sinais de stress ou doença, como descoloração ou comportamentos não habituais, nem juvenis provenientes de organismos que exibam estas características.

Daphnia magna é um microcrustáceo de água doce, vulgarmente designado por pulga-de-água (designação devida aos movimentos das segundas antenas que fazem com que pareça deslocar-se em pequenos saltos), que pertence à ordem Cladóceros. Este organismo apresenta, como todos os crustáceos, uma carapaça que no seu caso sofre geralmente muda diária, sendo habitante comum de águas doces interiores dos cinco continentes (Cooney, 1995). Na Figura 15 apresenta-se uma representação esquemática de um exemplar de *Daphnia magna*.

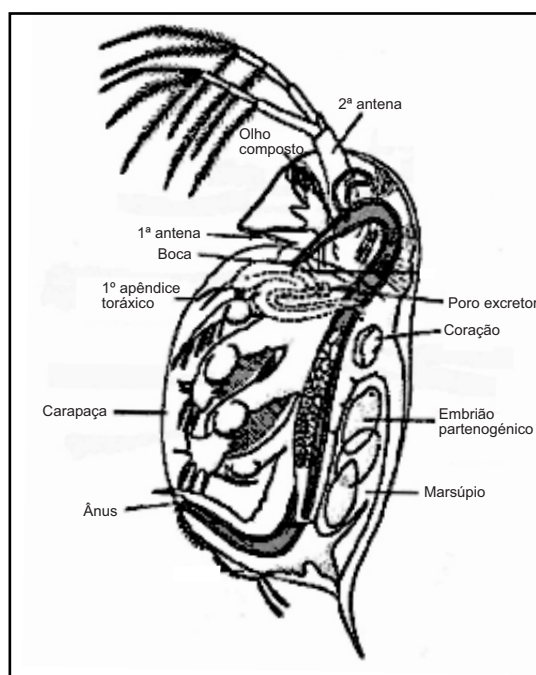


Figura 15. Representação esquemática de *Daphnia magna* (adaptado de Cooney, 1995).

Este é um organismo considerado de eleição para a avaliação ecotoxicológica apresentando as características acima mencionadas. Em condições naturais, *Daphnia magna* reproduz-se por partenogénese cíclica, o que fornece tanto clones de longo termo como populações com reprodução sexuada. Ou seja, durante a maior parte do ano as populações naturais de *Daphnia magna* são constituídas maioritariamente por fêmeas, sendo os machos apenas

abundantes na Primavera e Outono, ou quando ocorrem condições ambientais desfavoráveis como, por exemplo, baixas temperaturas ou grande densidade populacional e subsequente acumulação de produtos excretores (Peters, 1987). Contudo, em laboratório, onde as condições ambientais são favoráveis e constantes, a reprodução sexuada normalmente não ocorre e *D. magna* reproduz-se apenas por partenogénese produzindo um número elevado de descendentes geneticamente idênticos às fêmeas progenitoras o que permite eliminar a variabilidade de ordem genética dos bioensaios. A duração do ciclo de vida de *Daphnia magna* do ovo à vida adulta depende das condições ambientais a que esta está sujeita (Pennak, 1978 *in* Cooney, 1995). O seu ciclo de vida varia entre, cerca de 40 dias a 25 °C, e 56 dias a 20°C. Quando mantida em laboratório, esta espécie produz, normalmente, juvenis de 3 em 3 dias e necessita de 7 a 10 dias para dar origem à primeira ninhada. Os ovos são libertados do ovário para o marsúpio (figura 15) onde se desenvolvem em juvenis que são, por sua vez, libertados para o ambiente quando as progenitoras mudam a sua carapaça. Para além das características já mencionadas, um conjunto de outros aspectos favorecem a utilização de *D. magna* em testes ecotoxicológicos (Cooney, 1995; Guilhermino, 1996): (i) apresentam distribuição geográfica bastante ampla, sendo habitantes comuns das águas doces dos cinco continentes; (ii) são organismos representativos dos consumidores primários das cadeias alimentares dulciaquícolas, alimentando-se de algas unicelulares e servindo de alimento a várias espécies de peixe; (iii) são de pequeno tamanho e facilmente cultiváveis em laboratório, requerendo pouco espaço e tornando por isso os bioensaios mais económicos por necessitarem de menos material e darem origem a menor quantidade de resíduos das substâncias testadas; (iv) são muito sensíveis à maioria dos tóxicos; (v) têm um ciclo de vida relativamente curto quando comparado por exemplo com os peixes, facilitando a realização de bioensaios crónicos ao longo de várias gerações; (vi) originam grande número de descendentes, utilizáveis em bioensaios, num curto espaço de tempo, devido à sua capacidade de reprodução assexuada; (vii) embora sejam de pequeno tamanho são facilmente visíveis a olho nu facilitando a medição dos critérios indicativos de toxicidade. Pelos aspectos mencionados, os testes com esta

espécie são formalmente reconhecidos por organizações internacionais, sendo requeridos para a avaliação do impacto potencial no ambiente aquático de efluentes ou de novos compostos químicos (EPA, 1993; OCDE, 2000).

3.3.2. Utilização de bioensaios de toxicidade na avaliação de águas subterrâneas

As águas subterrâneas contêm uma mistura de compostos químicos naturais e antropogénicos variável, que depende quer das características geológicas e geomecânicas do aquífero quer do uso dos solos relacionados. Em áreas urbanas, os contaminantes antropogénicos podem, por exemplo, incluir metais e solventes provenientes de actividades industriais, amónia e outros compostos ricos em azoto provenientes de adubos e fertilizantes usados na agricultura, fármacos de uso humano e veterinário provenientes, por exemplo, quer de resíduos hospitalares quer de resíduos originados em quintas de produção animal, e detergentes e outros compostos provenientes de actividades doméstica.

A monitorização das águas subterrâneas é tradicionalmente efectuada através de análises hidrogeoquímicas para determinar a concentração na água de compostos químicos específicos e comparar os valores obtidos com os valores permitidos por lei. Contudo, esta abordagem, por um lado, não facilita a extrapolação entre concentração química e potenciais efeitos biológicos, e por outro lado, não entra em consideração com os efeitos de interacções que ocorrem entre os diferentes compostos destas misturas complexas. Assim, a realização de bioensaios usando organismos indicadores com relevância ecológica fornece um método de avaliação dos efeitos biológicos de misturas complexas de contaminantes, das quais são exemplo as águas subterrâneas (Walker et al., 2001; Mason, 2002). Para além disso, convém referir que a Directiva do Conselho Europeu sobre a protecção das águas subterrâneas contra a poluição e a deterioração (PE-CONS 3658/06) recomenda que informação ecotoxicológica seja tida em consideração para a avaliação do seu estado químico, muito embora

não dê ainda indicações orientadoras relativas à obtenção dos dados ecotoxicológicos.

Os bioensaios de toxicidade aguda e crônica e a determinação de biomarcadores bioquímicos têm sido utilizados com sucesso na avaliação ecotoxicológica de águas subterrâneas contaminadas com poluição orgânica proveniente da escorrência de águas de superfície (Helma et al., 1998; Baun et al., 2000; Dewhurst et al., 2002) ou com hidrocarbonetos colhidas em furos de sondagens (Connon et al. 2003). No entanto este tipo de avaliação tem sido efectuado em águas subterrâneas de meios porosos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4. Material e métodos

4.1. Caracterização hidrogeológica

A hidrogeologia de superfície e de sub-superfície efectuada na área em estudo permitiu reconhecer em afloramento, principalmente a heterogeneidade litológica, o estado de alteração e da fracturação do maciço. Durante os trabalhos de prospecção hidrogeológica de terreno foram medidos, sempre que possível, de uma forma sistemática parâmetros físico-químicos dos pontos de água inventariados (como o pH, a condutividade eléctrica e a temperatura). O aparelho utilizado na medição dos parâmetros anteriores foi o da marca *HANNA Instruments* (pH/EC/TDS/T) HI991300. Na caracterização e descrição da área recorreu-se às técnicas básicas de hidrogeologia aplicada (e.g., Fetter 2001; Assaad et al., 2004). A terminologia utilizada na caracterização do maciço rochoso refere-se ao CFCFF – *Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow* (1996).

Para a presente investigação recorreu-se a equipamentos correntemente disponíveis no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, no Centro de Minerais Industriais e Argilas (MIA) da Universidade de Aveiro, no Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA) do Departamento de Engenharia Geotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto e no Laboratório de Ecotoxicologia do Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR).

Na digitalização dos mapas de cartografia regional e local, foi utilizado o programa “*OCAD for Cartography version 8.0*” e outros programas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), tais como, o ArcGIS 9.1. da ESRI e o “*Golden Software Surfer (Surface Mapping System) version 8.0*”. O “*OCAD for Cartography version 8.0*” é um programa de *Computer-Assisted Design* (CAD), em que a digitalização da informação a tratar se efectua em duas fases: a) rasterização, através de um digitalizador, da cartografia existente em vegetal indeformável; b) vectorização da imagem do mapa obtido por rasterização. Este processo pressupõe uma preparação cuidadosa, e de acordo com determinadas regras, dos mapas a digitalizar.

O inventário de potenciais fontes de contaminação de superfície na área envolvente do túnel de Arca d'Água - Rua Nova do Regado foi realizado ao longo da campanha de terreno ocorrido entre Abril e Maio de 2006. Durante estes trabalhos foram medidos, sempre que possível, de uma forma sistemática parâmetros físico-químicos dos pontos de água inventariados com controlo *in situ* da temperatura, do pH e da condutividade eléctrica. Foram inventariados 54 pontos de potenciais fontes de contaminação de superfície durante a campanha de campo, aos quais se atribuiu um nº de ordem, sendo registados numa ficha criada para o efeito (figura 16). No caso da ficha de inventário das fontes de contaminação, no tópico “descrição sucinta da fonte de contaminação: tipo”, foi colocado um número relativo a uma listagem, previamente, elaborada para facilitar a catalogação das fontes no trabalho de campo (figura 17).

Foram ainda seleccionados, no túnel de Arca d'Água - Rua Nova do Regado, 9 pontos de água (para a realização de análises ecotoxicológicas) e 6 amostras de água para análises físico-químicas. Para cada ponto de água foi também criada uma ficha de inventário contendo, entre outras, as seguintes informações: nº do ponto de água, localização, profundidade (m), litologia, grau de alteração, pH, condutividade eléctrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), data e hora da recolha dos dados (figura 18).

Os fundamentos metodológicos usados para a caracterização das fontes de contaminação de superfície foram baseados nos estudos de EPA (1991), de Fetter (1993), de Vrba & Zaporozec (1994), de Foster et al. (2002), de Kovalevsky et al. (2004) e de Zaporozec (2004), entre outros.

Uma das premissas desta investigação consistiu na intenção de se tentar fazer um inventário, o mais exaustivo possível, da área envolvente do túnel de Arca d'Água - Rua Nova do Regado. O limite máximo estabelecido para o inventário foi de cerca de 200m para ambos os lados do traçado do túnel referido. A selecção dos pontos inventariados esteve dependente de critérios previamente estabelecidos designadamente a pesquisa de potenciais fontes que possam estar na origem de certos contaminantes que afectam actualmente as águas subterrâneas do Porto, como é o caso dos nitratos e sulfatos.

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO		
Nº de inventário: _____	Designação: _____	Tipologia: _____
Planta de localização	Fotografia	
Folha nº: _____ da carta topográfica 1/25000 Coordenadas (km): M _____ P _____ Cota (m): _____ Condições de acesso: _____ Proprietário: _____ Endereço: _____ Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____		
Enquadramento geomorfológico: Talude: __ Encosta: __ Linha de água próxima: __ Afastada: __ Distância (m): __ Enquadramento Geológico e Hidrogeológico: Carta Geológica: _____ Escala: _____ Carta Hidrogeológica: _____ Escala: _____ Unidade geológica e/ou geotécnica: _____ Litologia / grau de alteração: _____ Unidade hidrogeológica: _____ Armadilha hidrogeológica suposta: _____		
Descrição sucinta da fonte de contaminação: Tipo (e.g. 1) _____ Características / aparência: _____		
Descrição do(s) contaminante(s): Tipo: _____ Quantidade: _____ Tipo de descarga (e.g. sólido): _____		
Medidas protectoras: _____		
Problemas aparentes: _____ Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____		
Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____ Esforços de remediação: _____		
Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____		
Observações: _____		
Elaborado por: _____		Data: _____

Figura 16. Modelo da ficha de inventário das potenciais fontes de contaminação à superfície.

FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO

- | | |
|---|---|
| 1. Poço/furo abandonado | 23. Sistema de irrigação (agrícola, golfe) |
| 2. Poço/furo privado | 24. Complexo industrial |
| 3. Depósito à superfície | 25. Fonte de contaminação natural |
| 4. Depósito subterrâneo (e.g. combustível) | 26. Sistema de esgoto municipal |
| 5. Fertilizante de uso agrícola | 27. Conduta de gás ou hidrocarbonetos |
| 6. Pesticida/herbicida de uso agrícola | 28. Estação de tratamento de águas residuais (ETAR) |
| 7. Fertilizante/pesticida/herbicida de uso urbano | 29. Estação de tratamento de águas (ETA) |
| 8. Cemitério | 30. Matadouro |
| 9. Estação de serviço | 31. Picadeiro |
| 10. Oficina de automóveis | 32. Hospital |
| 11. Fossa séptica | 33. Clínica médica/ Unidade de saúde |
| 12. Produção ou armazenamento de produtos químicos | 34. Estabelecimentos de ensino |
| 13. Lixeira | 35. Edifícios de acção social |
| 14. Jardim com lago e vegetação de grande porte | 36. Instalações militares |
| 15. Jardim sem lago e vegetação de pequeno e grande porte | 37. Lavandaria |
| 16. Quintal | 38. Lavadouro |
| 17. Quinta | 39. Lago artificial |
| 18. Descampado | 40. Mictórios |
| 19. Escombreira | 41. Balneários e Instalações sanitárias |
| 20. Aterro (activo ou abandonado) | 42. Óculos de ventilação |
| 21. Indústria | 43. Acesso ao túnel (porta ou tampa ou janela) |
| 22. Local de resíduos perigosos | 44. Outros |

Figura 17. Fontes potenciais de contaminação.

FICHA DE INVENTÁRIO		
Nascente	Nº inventário: _____	
Planta de Localização	Fotografia	
Mapa topográfico _____ escala: _____		
Mapa geológico/geotécnico _____ escala(s): _____		
Localização relativamente ao ponto de origem (m): _____		
Profundidade (m): _____		
Condições de acesso: _____		
Breve descrição: Ponto de descarga simples <input type="checkbox"/> Grupo de nascentes <input type="checkbox"/> Área de descarga: ____x____ m Nascente permanente <input type="checkbox"/> Nascente temporária <input type="checkbox"/>		
A água flui através de: Tecto <input type="checkbox"/> Hasteal direito <input type="checkbox"/> Hasteal esquerdo <input type="checkbox"/> Rocha <input type="checkbox"/> Alvenaria <input type="checkbox"/> Outra <input type="checkbox"/> Qual? _____ Descont. vertical <input type="checkbox"/> Descont. horizontal <input type="checkbox"/> Outra <input type="checkbox"/> Qual? _____		
Aspecto superfície rocha/alvenaria: esbranquiçada <input type="checkbox"/> avermelhada <input type="checkbox"/> acastanhada <input type="checkbox"/>		
Características geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas Unidade geológica regional _____ Unidade geotécnica _____ Unidade hidrogeológica local ou regional _____		
Litologia _____ Grau de alteração (W) _____		
Qualidade da água e fluxo Dia ____ / ____ / ____ Hora ____ : ____ min		
Cheiro _____ cor _____ turbidez _____ Outras observações: plantas <input type="checkbox"/> animais <input type="checkbox"/> incrustações <input type="checkbox"/>		
Fluxo ____ l/s (medido com ____)		
Temperatura (°C) água ____ Temp. (°C) ar ____ pH ____ Condutividade eléctrica ____ µS/cm		
Amostra para análise laboratorial nº ____ data colheita _____		
Elaborado por _____ Data _____		

Figura 18. Modelo da ficha de inventário hidrogeológico utilizado no túnel de Arca D'Água - Rua Nova do Regado.

O recurso posterior aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para tratamento de dados foi também alvo de um rigoroso controlo nomeadamente na escolha da cartografia, nos condicionantes hidrogeológicos e na sintetização de dados e posterior escolha da simbologia. A base planimétrica utilizada para a cartografia das fontes de contaminação foi adaptada da cartografia da Câmara Municipal do Porto. As linhas de água, quer o traçado natural quer os trechos canalizados, foram obtidos a partir da “*Carta de Condições de Drenagem de Superfície*” da Carta Geotécnica do Porto (COBA, 2003), à escala 1/10.000. Relativamente ao túnel, o seu traçado foi adaptado a partir de uma planta esquemática dos SMAS (1961).

Para a simbologia proposta na legenda dos mapas, uma vez que os pontos de inventário eram numerosos, houve a necessidade de os agrupar por categorias, de forma a simplificar a legenda e torná-la mais facilmente legível e compreensível.

A geo-referenciação dos pontos inventariados no ArcGis foi acompanhada da respectiva denominação, localização, coordenadas geográficas e valores de ponderação, numa tabela denominada de “tabela de atributos” (figura 19).

Attributes of Fontes de contaminação												
OBJECTID	Shape	FICHA_IV	Tipologia_1	FONTES_CON	NomeDeRua	X	Y	Pond	Tipo_Fonte	tunnel	Tipologi	
17	Point	17	7	Lago Artificial	Rua de Monsanto	-40377,949887	167169,120529	3	Artificial lake	1	P	
18	Point	18	8	Óculo	Rua 9 de Abril 1208	-40331,370812	167039,944605	2	Ventilation shaft	1	P	
19	Point	19	8	Óculo	Rua 9 Abril, Centro Forças Armadas	-40492,503402	166931,741778	2	Ventilation shaft	1	P	
20	Point	20	9	Furo militar Activo	Rua 9 Abril, Centro Forças Armadas	-40484,690071	166902,107559	3	Production well	1	P	
21	Point	21	9	Furo militar Abandonado	Rua 9 Abril, Centro Forças Armadas	-40480,232854	166910,130158	3	Abandoned well	1	P	
22	Point	22	1	Oficina Automóvel	Rua 9 Abril, 831	-40587,146764	166944,450140	3	Garage	1	P	
23	Point	23	8	Óculo fabrica meias	Rua 9 Abril, 808	-40705,286396	166794,254538	2	Ventilation shaft	1/2	P	
24	Point	24	8	Entrada	Rua 9 Abril, 604	-40726,509654	166779,877339	2	Spring galleries entrance	1/2	P	
25	Point	25	8	Porta	Rua Nova do Regado	-40626,100354	166630,968079	2	Spring galleries entrance	1/2	P	
26	Point	26	10	Canil	Rua S. Dinis	-40638,294906	166613,077745	2	Spring galleries entrance	1/2	P	
27	Point	27	11	Bomba Gasolina	Rua S. Dinis	-40831,751154	166583,318636	3	Petrol station	1/2	P	
28	Point	28	8	Porta lavadouro	Rua de Monsanto	-40254,127384	167078,554445	2	Spring galleries entrance	1	P	
29	Point	29	8	Entrada	Jardim Arca de Agua	-40210,849055	167033,337150	2	Spring galleries entrance	1	P	
30	Point	30	8	Óculo	Rua 9 deAbril	-40415,465050	166983,803455	2	Ventilation shaft	1	P	
31	Point	31	8	Óculo	Rua 9 Abril	-40579,111093	166875,802098	2	Ventilation shaft	1	P	
32	Point	32	8	Óculo	Rua SilvaPorto	-40659,837202	166823,775890	2	Ventilation shaft	1/2	P	
33	Point	33	4	Mictório	Praça 9 de Abril	-40227,553677	167030,157056	1	On-site sanitation	1	P	
34	Point	34	8	Janela	Rua Nova do Regado	-40805,325248	166672,319081	2	Spring galleries entrance	1/2	P	
35	Point	35	8	Janela	Rua Nova do Regado	-40814,315678	166654,518154	2	Spring galleries entrance	1/2	P	
36	Point	36	11	Bomba de Gasolina	Rua de Serpa Pinto, 616	-40878,084080	166430,465411	3	Null	1/2	P	
37	Point	37	12	Edifício Abandonado dos SMAS	Rua do Zaire, 98	-40807,351154	166431,233193	1	Null	1/2	P	
38	Point	40	13	Jardim escola João de Deus	Rua da Constituição, 15	-40777,159260	166188,304964	1	Null	2	P	
39	Point	41	6	Serviços de Tuberculose e Doenças	Rua da Constituição, 1656	-40680,786541	166185,040771	2	Null	2	P	
40	Point	45	12	Associação contra a tuberculose do P	Rua do Guanche, 25	-40669,317973	166213,361825	1	Null	2	P	
41	Point	101	14	Lavadouro	Rua de Monsanto	-40259,853062	167095,054221	1	Null	1	P	
42	Point	71	1	Oficina (Auto 9 de Abril)	Rua 9 de Abril, 451	-40871,508663	166726,026984	3	Null	1/2	P	
43	Point	72	5	Lavandaria (Astrolimpia)	Rua de S Dinis, 576	-40540,840720	166610,073671	2	Null	1	P	
44	Point	73	6	Clinica dentária	Rua de S Dinis, 459	-40659,801104	166598,983074	2	Null	1/2	P	
45	Point	74	6	Clinica Médico -Cirurgica	Rua de Vale Formoso, 635	-40261,260383	166975,959391	2	Null	1	P	
46	Point	75	17	Repartição de limpeza urbana	Rua de S Dinis	-40895,399467	166635,812280	2	Null	1/2	P	
47	Point	84	12	Ordem dos médicos	Rua Delfim Maia, 405	-40032,735616	167161,816594	1	Null	1	P	
48	Point	85	9	Furo da ordem dos médicos	Rua Delfim Maia, 405	-40025,750417	167108,587382	3	Null	1	P	
49	Point	86	13	Universidade Fernando Pessoa	Praça 9 de Abril, 349	-40161,346656	167178,205495	2	Null	1	P	
50	Point	87	5	Fábrica das Meias	Rua 9 de Abril, 608	-40699,873642	166786,933225	3	Null	1/2	P	
51	Point	14	14	Fonte do Regado	Rua do Regado	-40830,066359	166649,279185	0	Null	1/2	P	
52	Point	88	1	Oficina	Rua do Zambuze, 230	-40704,476425	166403,134260	3	Null	1/2	P	
53	Point	90	9	Furo (da policia)	Rua de Vale Formoso	-40268,358458	166912,386287	3	Null	1	P	
54	Point	91	8	Porta de Entrada do 2º túnel	Rua de S. Dinis	-40837,424026	166607,023496	2	Null	1/2	P	
55	Point	94	8	óculo	Rua António Enes	-40936,544502	166392,806079	2	Null	1/2	P	

Figura 19. Tabela de atributos gerada em ambiente SIG.

Recolhida a informação e já em gabinete, procedeu-se ao tratamento de toda a informação e à execução da cartografia temática recorrendo a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), através do programa ArcGis e à funcionalidade ArcMap versão 9.1 da “Environmental Systems Research Institute” (ESRI). Seguiram-se os procedimentos, as terminologias e as metodologias correntemente utilizadas nas plataformas de SIG (e.g., Booth, 2000; Burke et al., 2001; Schuurman, 2001).

O ArcMap é a aplicação primordial para a edição de Sistemas de Informação Geográfica e subsequente mapeamento, permitindo a visualização de modelos, a criação de mapas e a apresentação de resultados de formas variadas. O programa, através da ferramenta ArcToolbox, permite que, após serem referenciados os pontos registados e atribuídas as ponderações, se calculem densidades numa determinada área de estudo. A magnitude seja de um ponto ou linha é distribuída ao longo da zona que interessa avaliar, e o valor da densidade é calculado para cada célula no *output raster* (mapa de *bits*, ou seja imagens que contêm a descrição de cada *pixel*).

Os mapas de densidade são ferramentas eficientes para especificar concentrações seja de fontes pontuais ou lineares. O método usado para o cálculo da susceptibilidade à contaminação foi o de *Kernel* (figura 20), que permite calcular a densidade de pontos (*features*) num determinado raio em redor desses mesmos pontos.

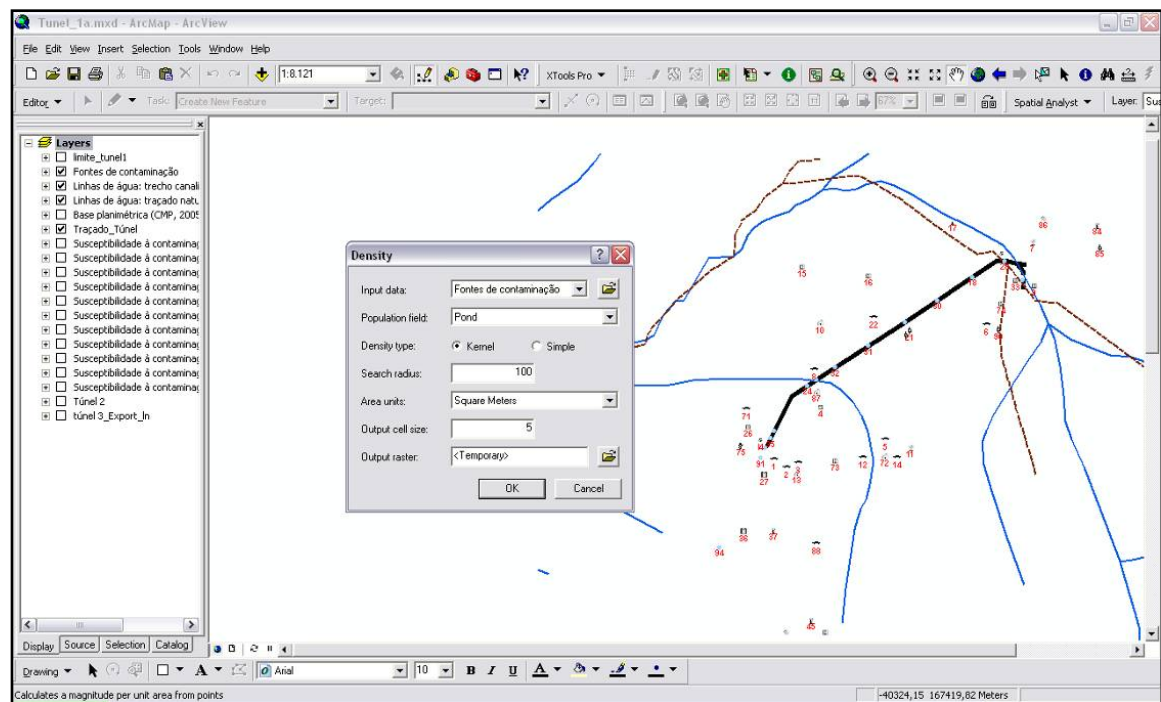


Figura 20. Cálculo da susceptibilidade usando o método de *Kernel*.

É ainda de salientar que o método distingue o cálculo de fontes pontuais e de fontes lineares. Para as fontes lineares é calculada a densidade nas vizinhanças de cada célula do *raster* em unidades de comprimento por área. Conceptualmente é desenhado um círculo a partir do centro de cada célula, definido por um determinado raio. O comprimento da porção linear que se encontrar dentro do círculo é multiplicado pelo valor da ponderação atribuída. Para as fontes pontuais é definido um raio de influência e o número de pontos que se encontrarem dentro dele são contabilizados e divididos pela área de influência.

4.2. Avaliação ecotoxicológica

Neste tópico apresentam-se os materiais e métodos utilizados na avaliação ecotoxicológica da água subterrânea do sector Arca d'Água-Rua Nova do Regado, do Manancial de Paranhos. Descrevem-se primeiramente os métodos de cultura laboratorial de *Daphnia magna* e *Chlorella vulgaris* para obtenção de organismos-teste a utilizar nos bioensaios de toxicidade realizados. Apresenta-se, em seguida, a metodologia geral seguida na realização dos bioensaios de toxicidade aguda com *Daphnia magna*, incluindo a preparação das soluções-teste, e os métodos seguidos na análise dos resultados.

4.2.1. Métodos de cultura de *Daphnia magna*

Esta fase do trabalho teve por objectivo a manutenção de culturas laboratoriais de *Daphnia magna* para obtenção de organismos-teste necessários à realização dos bioensaios de toxicidade aguda. Os métodos de cultura de *D. magna* envolvem também a realização de culturas da alga unicelular *Chlorella vulgaris* que é utilizada como fonte de alimento para dáfnia.

Metodologia geral

Todas as experiências foram efectuadas com juvenis de *Daphnia magna* clone A (*sensu* Baird et al., 1989a). Este clone é mantido em cultura no Laboratório de Ecotoxicologia do CIIMAR desde há vários anos. Para a obtenção de juvenis para os bioensaios de toxicidade, foram mantidas culturas parentais em grupo em recipientes de vidro, parcialmente tapados, contendo 800 ml de meio ASTM (ASTM, 1980), e 10 a 12 fêmeas de *D. magna* (figura 21). Estas culturas foram mantidas a $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$, com um fotoperíodo de 16h luz: 8 horas escuro. O meio foi renovado 3 vezes por semana em dias alternados. Para o efeito preparam-se novos recipientes de cultura com meio e alimento frescos e as fêmeas e/ou juvenis foram transferidas do frasco de cultura com meio envelhecido para o frasco com meio fresco com o auxílio de uma pipeta Pasteur de plástico. O alimento era constituído por uma suspensão de *Chlorella vulgaris*, correspondendo a uma ração diária de 3×10^5 células/mL. Em cada geração, as

fêmeas foram mantidas até ao nascimento da quinta ninhada, e os juvenis foram usados em ensaios ecotoxicológicos (quando pertencentes à 3^a, 4^a ou 5^a ninhadas). Na 5^a ninhada, as mães, foram rejeitadas e tendo sido iniciada uma nova cultura com os juvenis.



Figura 21. Culturas parentais em grupo de *Daphnia magna*.

Preparação de meio de cultura de *Daphnia magna*

O meio de cultura utilizado na manutenção laboratorial da espécie *D. magna* foi um meio reconstituído designado por ASTM (ASTM, 1980), enriquecido com 3.2 mL de um suplemento orgânico constituído por extracto de algas da espécie *Ascophyllum nodosum* (Baird et al., 1989b) e um suplemento vitamínico. Este meio é constituído por NaHCO₃ (19.2 g/L), MgSO₄·7H₂O (24.57 g/L), KCl (0.8 g/L), e CaSO₄·2H₂O (0.12g/L) em água ultra-pura (condutividade <5 µS/cm). O complexo vitamínico é constituído pelas vitaminas B₁, H e B₁₂, sendo preparado em água ultra-pura, a partir das quantidades indicadas no quadro 22 de soluções previamente elaboradas e congeladas destas vitaminas. Esta solução final é posteriormente filtrada a vácuo com um filtro de 0.2 µm e dividida por microtubos de 2 mL. Todos os materiais usados para a preparação do complexo vitamínico devem ser previamente esterilizados, todo o processo deve ser realizado à chama do bico de Bunsen e as superfícies de trabalho limpas com álcool a 70%, a fim de evitar contaminações.

Quadro 22. Constituição do suplemento vitamínico usado no enriquecimento do meio ASTM, para um volume final de 500 mL.

Vitaminas	Volume/ μ L
B ₁	2500
H	25
B ₁₂	25

O suplemento orgânico de *Ascophylum nodosum* foi preparado por adição a água ultra-pura de aproximadamente 35 mL, por cada 1000 mL de solução final, de solução concentrada do suplemento orgânico. A absorvância desta solução foi medida num espectrofotómetro (Jenway 6405/Vis), a um comprimento de onda de 400 nm, na proporção de 1/10 (0.4 mL de extracto de algas / 3.6 mL de água ultra-pura), efectuando-se sucessivas diluições em água ultra-pura de modo a obter uma solução final com 0.620 de absorvância. Este suplemento foi mantido a 4°C protegido da luz para posterior utilização.

Fonte de alimento para *Daphnia magna*

A espécie *Daphnia magna* pode ser alimentada, entre outras, com a microalga *Chlorella vulgaris*. Para que seja possível fornecer sempre alimento fresco às dafnias, são mantidas em laboratório culturas desta microalga. A partir destas culturas foram preparados regularmente volumes de suspensão a fornecer como alimento às dafnias.

Cultura de *Chlorella vulgaris*

As culturas de *C. vulgaris* foram mantidas em balões de vidro de 10L de capacidade, em meio MBL, arejadas permanentemente, com ar filtrado através de um filtro de seringa de 0.22 μm (Spritzen/Syringe-Filter), e mantidas numa sala climatizada ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) em condições de luminosidade permanente (figura 26).

As culturas de *C. vulgaris* foram iniciadas, após preparação, autoclavagem e arrefecimento de 4 litros de meio MBL preparado em água destilada (Guilhermino, 1996), ao qual foram adicionados 0.5 mL de suplemento vitamínico e 10 mL de inóculo líquido de *C. vulgaris* previamente preparado. Este procedimento foi realizado nas mesmas condições de assepsia descritas para a preparação da solução de vitaminas, e todas as pontas e pipetas utilizadas foram previamente esterilizadas.

O inóculo é uma pequena amostra de *C. vulgaris* retirada ao sétimo dia durante a sua fase exponencial de crescimento. Estes inóculos são retirados para frascos previamente autoclavados e são conservados a 4°C até à data da sua utilização. Conforme mencionado, ao 7º dia de cultura, esta deverá atingir a fase exponencial de crescimento. A partir desta altura foi efectuada a renovação (usando diferenças de pressões, figura 22) do meio de cultura de 2 em 2 dias, retirando de cada vez 2 L da cultura (que é posteriormente utilizada para preparação de alimento para *D. magna*) e adicionando dois litros de MBL. Este procedimento permitia manter as culturas em fase exponencial de crescimento. As culturas foram mantidas desta forma até um máximo de 30 dias. O meio MBL é constituído por macronutrientes, micronutrientes, vitaminas e uma solução tampão, usada para manter o pH da solução (quadro 23).

Cada balão de 10 L preparado, quer seja de meio para renovação de cultura quer seja para iniciar uma nova cultura, possui uma rolha de plástico com 3 tubos de silicone inseridos: um tubo de arejamento ligado ao filtro de ar (tubo comprido e fino no qual se encaixa uma pipeta de vidro de 5 mL; na extremidade exterior faz-se ligação com o tubo de arejamento); um tubo que regula a pressão (tubo curto e largo com rolha de algodão e gaze); um tubo que permite a entrada e saída de meio (tubo comprido e largo). Cada balão assim preparado foi

autoclavado durante 60 minutos a 120 ± 1 °C, e após a esterilização e arrefecimento adicionou-se a solução de vitaminas (1 mL por cada 8 L).



Figura 22. Renovação do meio de cultura de *Chlorella vulgaris*.

Quadro 23. Constituição do meio MBL (Guilhermino, 1996).

Compostos químicos	Concentração da solução
a. Macronutrientes	
CaCl ₂ .2H ₂ O	36.76 g/l
MgSO ₄ .7H ₂ O	36.97 g/l
NaHCO ₃	12.60 g/l
K ₂ HPO ₄	8.71 g/l
NaNO ₃	85.01 g/l
Na ₂ SiO ₃ .9H ₂ O	28.42 g/l
b. Micronutrientes	
Na ₂ .EDTA	4.36 g/l
FeCl ₃ .6H ₂ O	3.15 g/l
CuSO ₄ .5H ₂ O	0.01 g/l
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.002 g/l
CoCl ₂ .6H ₂ O	0.01 g/l
MnCl ₂ .4H ₂ O	0.18 g/l
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0.006 g/l
c. Vitaminas	
Tiamina.HCl	0.1 mg/l
Biotina	0.5 µg/l
Cianacobalamina	0.5 µg/l
d. Tampão	
Tris (hidroximetil) – aminometano pH 7.2	50 g/200ml

Preparação de alimento para *Daphnia magna*

Para a preparação de alimento para *D. magna* os volumes de suspensão de algas retirados do recipiente de cultura de *C. vulgaris* foram centrifugados durante 5 minutos a 3500 rpm (centrifuga Kubotan 5400) em tubos de centrifuga de 100 mL. Após centrifugação, rejeitou-se o sobrenadante e ressuspendeu-se o sedimento de algas em meio ASTM com vitaminas. A absorvância desta suspensão foi lida num espectrofotómetro de cuvetes (Jenway 6405/Vis), a um comprimento de onda de 440 nm, a partir de uma diluição de 1/10 (0.40 ml de algas para 3.60 mL de meio ASTM). A absorvância deve encontrar-se entre 0.4 e 0.8, e as suspensões assim obtidas foram armazenadas a 4°C por um período máximo de 3 dias ou a -20°C por um período máximo de 3 meses. A quantidade de alimento a fornecer foi calculada a partir da concentração da suspensão de *C. vulgaris* e do volume da cultura de *D. magna*.

Bioensaio de toxicidade aguda com *Daphnia magna*

Apresenta-se neste item a metodologia seguida na realização dos bioensaios convencionais de toxicidade aguda com o clone A (*sensu* Baird et al. 1989a) de *Daphnia magna* para avaliar o potencial tóxico da água subterrânea do sector Arca d'Água-Rua Nova do Regado.

Para a selecção dos locais de amostragem, para colheita de água, ao longo do sector Arca d'Água-Rua Nova do Regado foram efectuados levantamentos de campo para reconhecimento do percurso e das características do manancial naquele sector. Simultaneamente foram efectuados o reconhecimento e uma cartografia preliminar de susceptibilidade a fontes de poluição das águas dos mananciais. Em função da informação assim obtida foram seleccionados 9 locais de amostragem para recolha de água para análise distribuídos ao longo do traçado do sector. Alguns destes pontos de amostragem coincidiram com os pontos de amostragem seleccionados para colheita de água para realização de análises químicas.

Metodologia geral dos ensaios de toxicidade aguda

Os ensaios foram elaborados de acordo com as directivas da OCDE (OCDE, 2000) e conforme descrito em Guilhermino (1996). Todos os ensaios foram efectuados com juvenis de *dafnia* provenientes do clone A (*sensu* Baird et al. 1989a) nascidos da 3ª às 5ª ninhadas, e com uma idade compreendida entre as 5 e as 24 horas. O meio de teste utilizado foi ASTM sem vitaminas e sem suplemento orgânico. Os animais não foram alimentados durante os ensaios. A água subterrânea colhida em cada ponto de amostragem foi utilizada para construir uma série de seis concentrações (de 0 a 100%). Para cada concentração testada foram utilizadas quatro réplicas, contendo cada uma cinco (5) juvenis (num total de 20 organismos por concentração) colocados em recipientes de vidro de 100 mL (figura 23). Os organismos foram mantidos a uma temperatura de 18 a 20 °C e foi utilizado um fotoperíodo de 16h luz: 8h escuro.

Cada bioensaio teve a duração de 48 horas. No seu início foram medidos o pH, a temperatura, e a condutividade utilizando um condutímetro (WTW 92) e um potenciómetro (WTW 537) portáteis. Estas medições foram repetidas às 24 e às 48 horas. O parâmetro de toxicidade quantificado foi a morte avaliada através da imobilização por mais de 15s dos juvenis quando expostos a um estímulo luminoso. Através deste método, determinou-se às 24 e às 48h quantos organismos se encontravam mortos, registando-se em folha adequada ao efeito o número de sobreviventes por réplica e por concentração.



Figura 23. Bioensaio de toxicidade aguda da água subterrânea do Manancial de Paranhos para *Daphnia magna*.

Preparação das soluções-teste

Para a avaliação ecotoxicológica da água subterrânea do sector Arca d'Água-Rua Nova do Regado, prepararam-se com a água colhida em cada ponto de amostragem soluções-teste de diferentes concentrações. Para isso, a partir da água colhida, prepararam-se pelo método de diluições sucessivas com meio ASTM soluções com as concentrações de 100%, 75%, 50%, 25%, 12.5% e 0% da água colhida em cada ponto de amostragem.

Para os pontos de amostragem em que o pH da água colhida era inferior a 7, a água subterrânea amostrada foi utilizada para construir duas séries idênticas de seis concentrações (de 0 a 100%) por diluição com o meio ASTM, conforme descrito anteriormente: uma sem correcção de pH e outra com correcção de pH. Desta forma efectuou-se um controlo para a possível ocorrência de efeitos letais induzidos por um pH demasiado baixo. A correcção de pH foi efectuada por adição de NaOH (5N) a cada concentração preparada (figura 24).

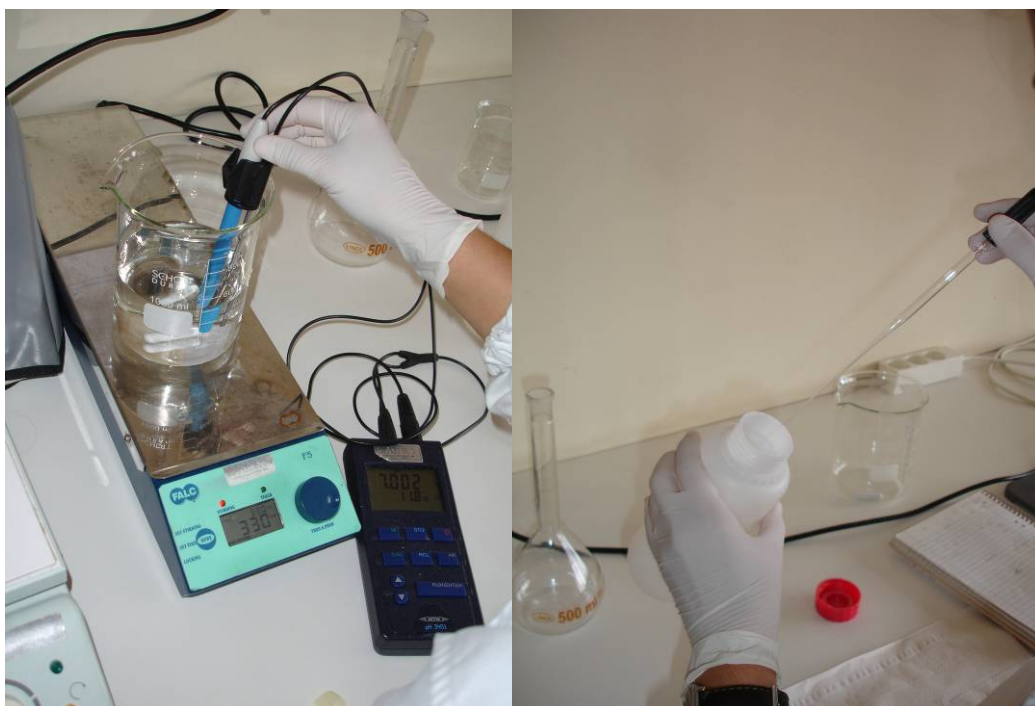


Figura 24. Preparação de soluções-teste para uma série de concentrações com correcção de pH.

5. ÁREA ENVOLVENTE AO TÚNEL DE ARCA D'ÁGUA – RUA NOVA DO REGADO, MANANCIAL DE PARANHOS: HIDROGEOLOGIA E ECOTOXICOLOGIA

5. Área envolvente ao túnel de Arca d'Água – Rua Nova do Regado, manancial de Paranhos: Hidrogeologia e ecotoxicologia

5.1. Bosquejo histórico do abastecimento de água à Invicta

O registo histórico mais antigo que relata a forma do abastecimento de água à cidade do Porto remonta 1392 e revela o facto de, há mais de cinco séculos, a cidade Invicta já possuir fontanários e chafarizes, para uso público, embora sem condições de higiene (Bourbon e Noronha, 1885; Fontes, 1908). Fontanários e chafarizes estariam assim espalhados pela cidade e um sem número de poços existiam nas propriedades particulares, quintais e terrenos anexos às habitações. Diversas nascentes públicas e privadas e um número considerável de mananciais garantiam um fornecimento de água mais ou menos abundante, de maior ou menor qualidade, mas com o crescimento e expansão graduais da população, estes recursos foram-se tornando progressivamente insuficientes (Amorim & Pinto, 2001).

Disso nos dá conta uma petição feita pelos moradores da cidade intra-muros, ao Rei D. Sebastião, em que era solicitada autorização para trazer à cidade a água das três fontes de Paranhos, e para a qual estavam dispostos a oferecer mil cruzados para ajuda das despesas. Embora o pedido tivesse sido aceite, nada se viria a concretizar e somente no reinado de Filipe I, e após nova petição, seriam feitas diligências para a avaliação de custos e de indemnizações a pagar aos donos dos terrenos que seriam atravessados pelo encanamento, e dada autorização por alvará de 20 de Novembro de 1597 à execução das obras necessárias. A construção viria a ser suportada ainda pelo "Rendimento da Imposição do Vinho e Sal e dos Sobejos dos crescimentos das sisas". Pouco tempo depois, por volta de 1607, a água deste manancial, também designado de Paranhos ou da Arca d'Água, chegaria à cidade (Fontes, 1908; Amorim & Pinto, 2001). Este não era obviamente o único manancial que abastecia a cidade, embora fosse o mais importante, e se conhecessem referências bastante anteriores à sua localização — em 18 de Abril de 1120, D. Teresa referia-se a ele

na carta de doação e couto do burgo do Porto passada a favor do bispo D. Hugo, aquando da definição dos seus limites (Amorim & Pinto, 2001).

No reinado de D. Filipe I iniciou-se o encanamento, o qual ficou concluído em 1607, possibilitando o transporte da água até à cidade e alimentando várias fontes ao longo do seu percurso (Bourbon e Noronha, 1885; Fontes, 1908). No ano de 1825, foi aprovado novo trajecto que devia incorporar um outro aqueduto, já em construção, o de Salgueiros, com origem na actual na Rua Antero de Quental. O novo aqueduto, com uma extensão de cerca de 3,5km, ficou concluído em 1838 e finalizava na Arca de Sá Noronha, na actual Praça de Parada Leitão (Amorim & Pinto, 2001).

Nessa altura a maioria da população, uma vez que ainda não estava disponível o abastecimento domiciliário, recorria aos fontanários públicos, no entanto os mais endinheirados estabeleciam contratos com “aguadeiros” — normalmente galegos fugidos ao serviço militar — que vendiam água a “avulso” ou “por assinatura” (Amorim & Pinto, 2001).

Contudo uma transformação radical do sistema começava a imperar uma vez que as doenças transmitidas, a inquinação das águas e a evolução dos cuidados de saúde e exigências quanto à qualidade de vida assim o impunham (Bourbon e Noronha, 1885; Ferreira da Silva, 1889; Fontes, 1908).

A partir de 1855 apareceram várias companhias candidatas ao projecto e execução de obras de captação, elevação, transporte e distribuição domiciliária, sendo em 22 de Março de 1882 assinado o contrato com a “*Compagnie Générale des Eaux pour l'Étranger*”, válido por 99 anos, o qual é aprovado por Carta de Lei, em 27 de Julho do mesmo ano. Por este documento, é dada à Cidade do Porto a água dos Rios Sousa e Ferreira para seu uso exclusivo. Os trabalhos são concluídos em 1886, ficando em 1 de Janeiro de 1887 o abastecimento regularizado. A população da Cidade era, então, de 122.000 habitantes e a água tida como a melhor da Europa. Passados mais de cem anos ainda é corrente designar-se a água do Porto por “Água da Companhia” (Amorim & Pinto, 2001).

No entanto o sistema mostrou-se extremamente vulnerável aquando do regime de cheias dos Rios Douro e Sousa, começando a Câmara a exercer fortes pressões junto da Companhia que conduziram ao resgate da concessão em 28 de

Março de 1927, por 3.500 contos, e à criação dos Serviços Municipalizados Águas e Saneamento em 1 de Abril desse ano. Dá início nesta altura um novo ciclo de vida no abastecimento de água à cidade do Porto. Os Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento (SMAS), começaram por beneficiar a Central do Sousa e construírem os Reservatórios (1928) e a Central (1929) de Nova Sintra.

Em 1934, por Decreto-Lei, viram-se os Serviços na obrigação de abastecer os concelhos de Gondomar, de V. N. de Gaia e de Matosinhos. Como reforço à captação do Sousa, procederam-se às aberturas de poços no areal de Zebreiros (rio Douro), estando em 1938, oito em funcionamento. A crescente importância de Zebreiros, justificou a construção da Central de Zebreiros, que ficou pronta em 1940. Na cidade foi iniciada em 1959 a construção do reservatório do Bonfim que ficou concluído em 1961. Na década de 70, integrados no sistema regional, foram construídos o Reservatório de Ramalde, em Gondomar, o Reservatório de Pedrouços na Maia e a uma Central elevatória em Jovim (Amorim & Pinto, 2001). Com a construção da barragem de Crestuma, por intrusão de água do mar, graves problemas surgiram nas captações de Zebreiros, face ao aumento do teor de cloretos. Foi decidido construir novas captações no sub-leito do Douro, a montante da barragem, em Lever. Em 1985 entrou em funcionamento a Central Elevatória de Lever, desactivando-se a centenária Central do Sousa e as captações de Zebreiros.

A necessidade de grandes investimentos ao nível de captação e tratamento de água levaram à constituição de uma empresa de capitais públicos — Águas do Douro e Paiva — que a partir de Janeiro de 1998 passou a garantir o abastecimento em alta à Área Metropolitana do Porto, passando os SMAS a garantir a distribuição de água na Invicta (Amorim & Pinto, 2001).

A figura 25 apresenta uma série de aspectos fotográficos dos túneis do manancial de Paranhos.

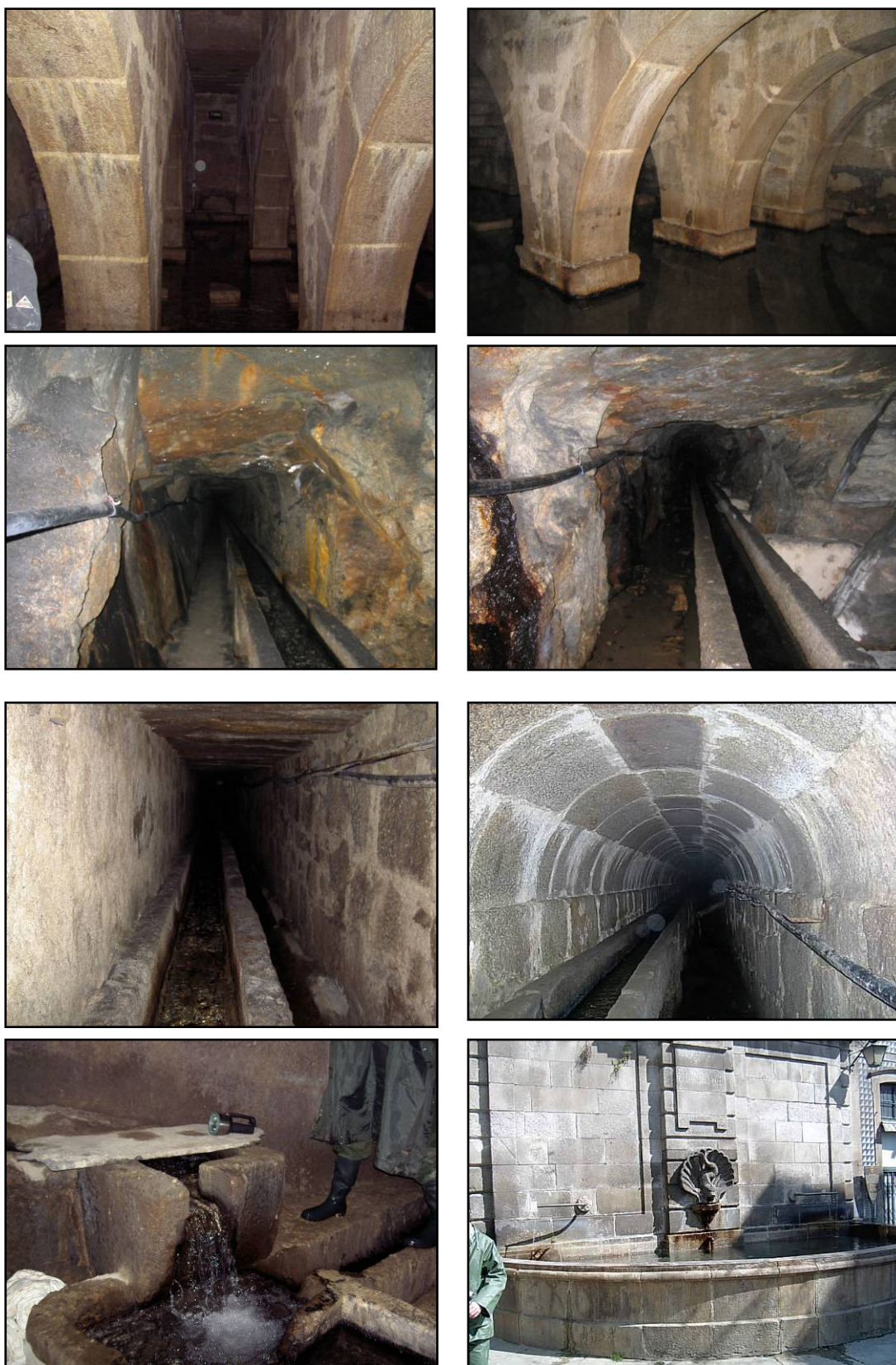


Figura 25. Aspectos diversos dos túneis do manancial de Paranhos.

5.2. O manancial de Paranhos: enquadramento geográfico

O Porto é uma cidade pertencente ao distrito do Porto (do qual é a sede de distrito), encontrando-se geograficamente inserida na Região Norte, mais concretamente na província do Douro Litoral. É usual designar por Grande Porto ao conjunto de cidades limítrofes ao Porto, uma vez que a densidade e proximidade das cidades vizinhas cria a ilusão de ser uma só "cidade" com cerca de 400km², onde moram cerca de 1.3 milhões de habitantes. A área Metropolitana do Porto engloba concelhos e cidades mais distantes, sendo que a sua área total é de 1575km², e a sua população é aproximadamente 1.5 milhões de habitantes (INE, 2001). A área de estudo, propriamente dita, situa-se dentro do perímetro da freguesia de Paranhos (figura 26).

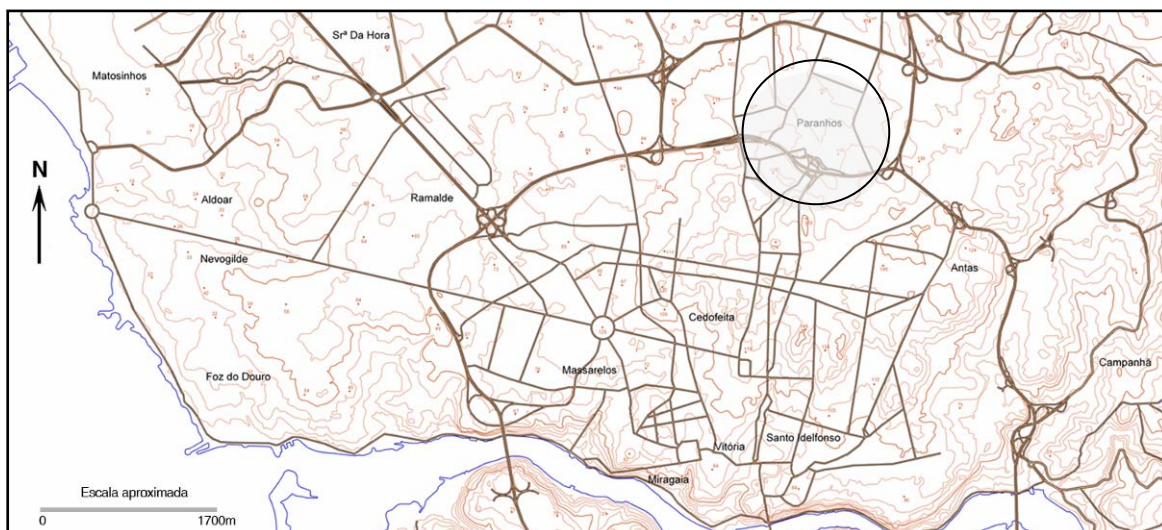


Figura 26. Enquadramento geográfico da área de estudo.

O traçado subterrâneo do manancial de Paranhos pode ser dividido nos seguintes túneis (figura 27): i) Túnel 1. Jardim de Arca d'Água – Rua Nova do Regado (ca. 1km); ii) Túnel 2. Rua de S. Dinis – Rua dos Burgães (ca. 2km); iii) Túnel 3. Rua dos Burgães – Largo de Alberto Pimentel (Afonso et al., 2006a,b,c).

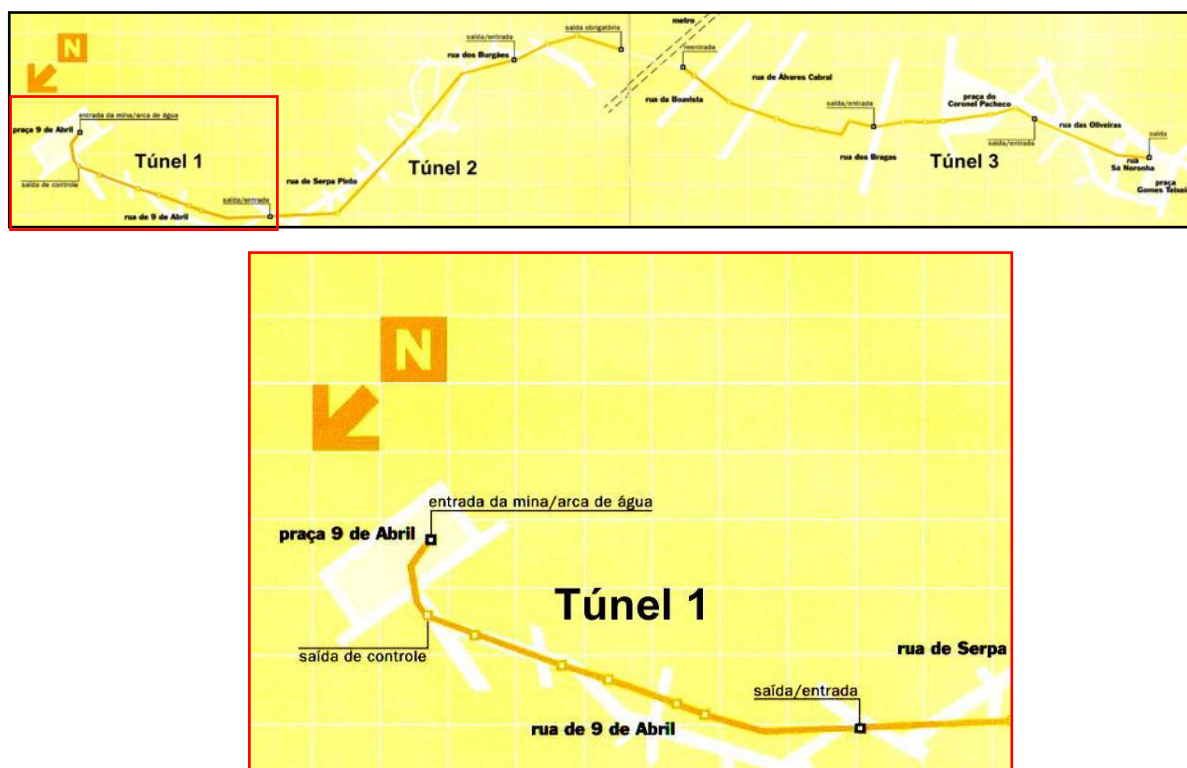


Figura 27. Percurso esquemático dos túneis do manancial de Paranhos: Túnel 1. Jardim de Arca d'Água – Rua Nova do Regado; Túnel 2. Rua de S. Dinis – Rua dos Burgães; Túnel 3. Rua dos Burgães – Largo de Alberto Pimentel (base topográfica: *folheto dos SMAS*; s/ escala).

5.3. Enquadramento geológico e geomorfológico regional

A região do Porto (figura 28) localiza-se num domínio geotectónico complexo do Maciço Ibérico (MI), i.e., entre os terrenos da faixa metamórfica de Espinho–Albergaria-a-Velha e o Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão (Chaminé, 2000; Pinto de Jesus, 2001; Chaminé et al., 2003). Esta região situa-se, assim, ao longo da sutura, dextra, com direcção geral NNW–SSE — faixa de cisalhamento de Porto–Coimbra–Tomar (Zona de Ossa-Morena, ZOM) — que contacta com a Zona Centro-Ibérica (Ribeiro et al., 1990).

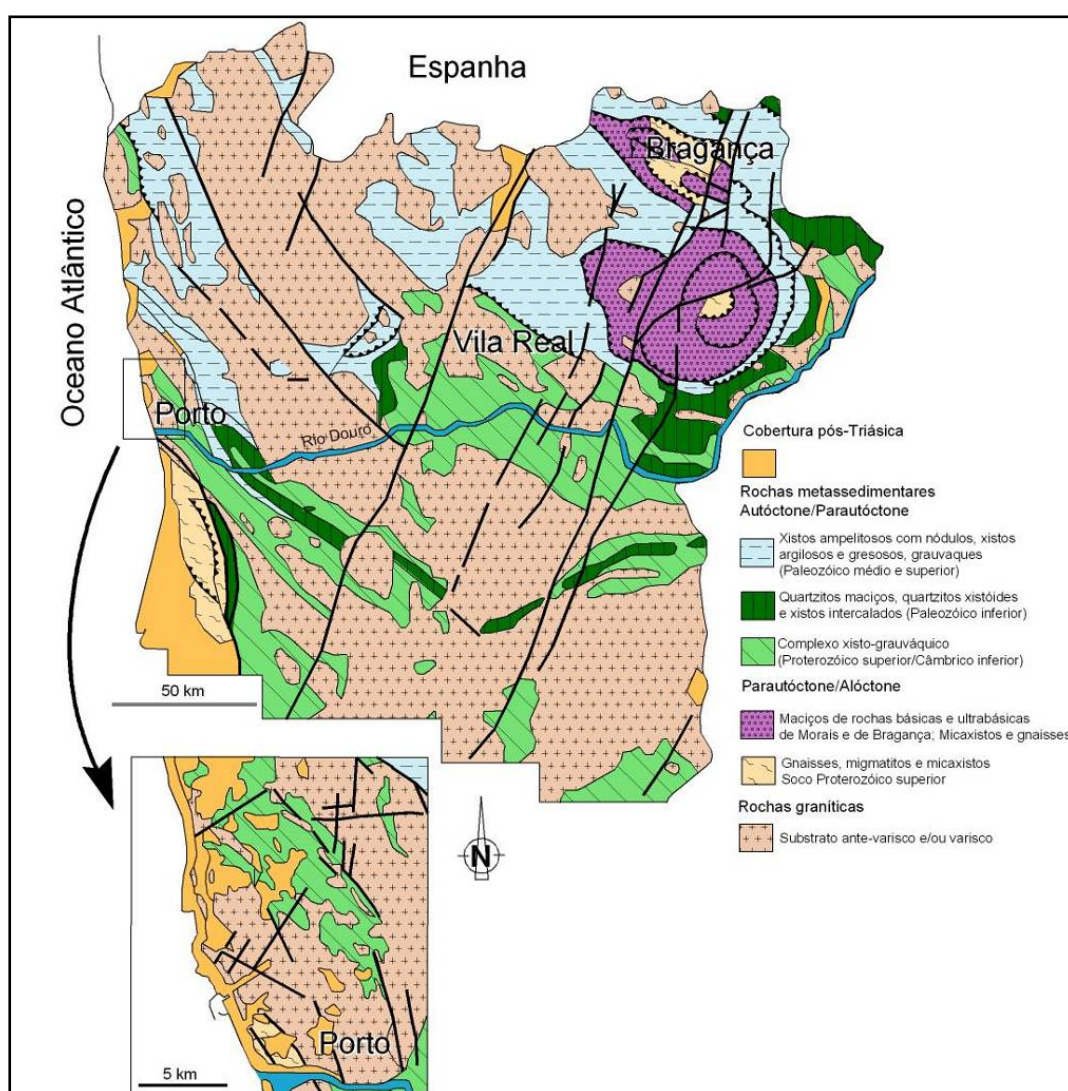


Figura 28. Enquadramento geológico da região do Porto no Norte de Portugal (simplificado de Oliveira et al., 1992).

Em termos de fracturação regional, as orientações dominantes apresentam direcções NW-SE e NE-SW, predominando em termos de quadrante de inclinação as descontinuidades subverticais a verticais. A análise do estado de alteração/alterabilidade permitiu constatar que o resultado da meteorização das rochas graníticas da região é frequentemente patenteada pela arenização e/ou decomposição do maciço (*cf.* Begonha & Braga, 1995; Begonha, 2001), que pode alcançar profundidades de mais de 100 m.

Em termos geomorfológicos regionais, a região está enquadrada no MI (Ribeiro et al., 1990; Araújo et al., 2003), correspondendo a uma vasta área aplanada — a plataforma litoral, a qual se desenvolve a partir de cotas abaixo dos 125 metros, subindo um pouco para Sul do Porto (figura 33).

Relativamente à organização geral da rede de drenagem, esta reflecte, em grande parte, a tectónica da área, especialmente, dos sistemas de fracturação regional (NW-SE a NNW-SSE, NE-SW a NNE-SSW e W-E; *cf.* Conde, 1983; Araújo, 1991; Cabral, 1995; Pedrosa, 1998; Chaminé, 2000; Araújo et al., 2003), impondo os traços morfoestruturais à região. Assim, estas estruturas maiores produzem uma compartimentação tectónica que, por sua vez, condiciona a distribuição das linhas de água, e consoante a litologia e a estrutura definem-se as redes hidrográficas, em geral, do tipo rectangular e/ou dendrítico. A principal linha de água na região em estudo é o rio Douro (figura 29), bem como uma série de tributários (*e.g.*, rio Tinto) e outros sistemas fluviais (*e.g.*, rio Leça). O rio Douro assume, no seu troço terminal (*ca.* 7km) uma orientação aproximada W-E, rodando para NNW-SSE na zona de confluência deste com o seu afluente da margem direita, o rio Tinto. Este rio apresenta uma orientação geral NNE-SSW, enquanto que o rio Leça exhibe orientações de NE-SW e NW-SE, com um traçado típico em baioneta o que denuncia condicionamento estrutural.

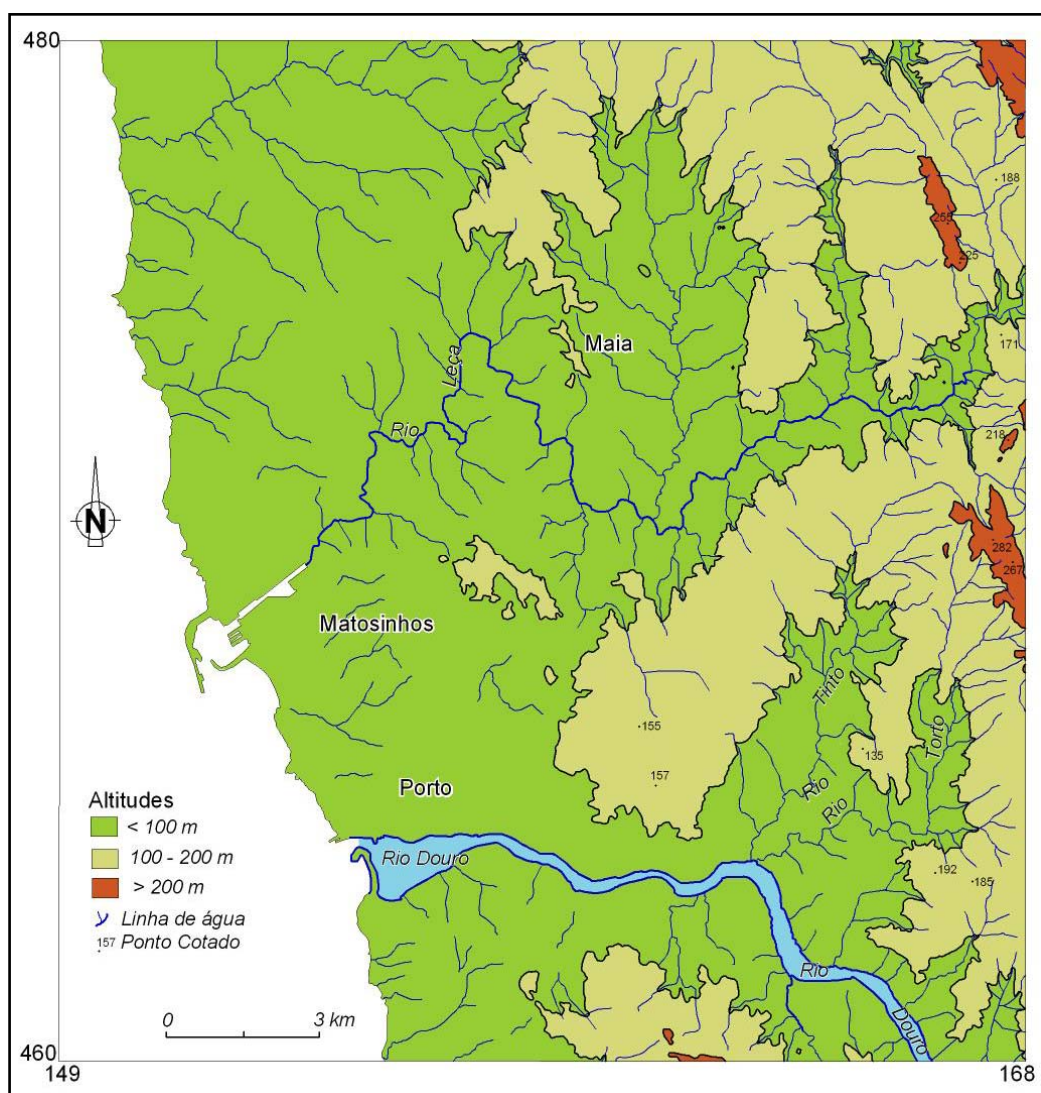


Figura 29. Hipsometria da região do Porto (adaptado de Afonso et al., 2004).

5.4. Enquadramento hidrogeológico da cidade do Porto

O granito do Porto aflora em grande parte da cidade do Porto (Almeida, 2001), estendendo-se ainda para os concelhos de Vila Nova de Gaia, Matosinhos e Maia, contactando, a Leste, com uma extensa mancha de rochas metassedimentares (tradicionalmente incluída no “Complexo Xisto-Grauváquico”; Carrington da Costa & Teixeira, 1957) e, a Oeste–Sudoeste, com uma série de unidades tectonoestratigráficas de médio a alto grau metamórfico típicas da ZOM (Complexo Metamórfico da Foz do Douro; Chaminé et al., 2003) - figura 30.

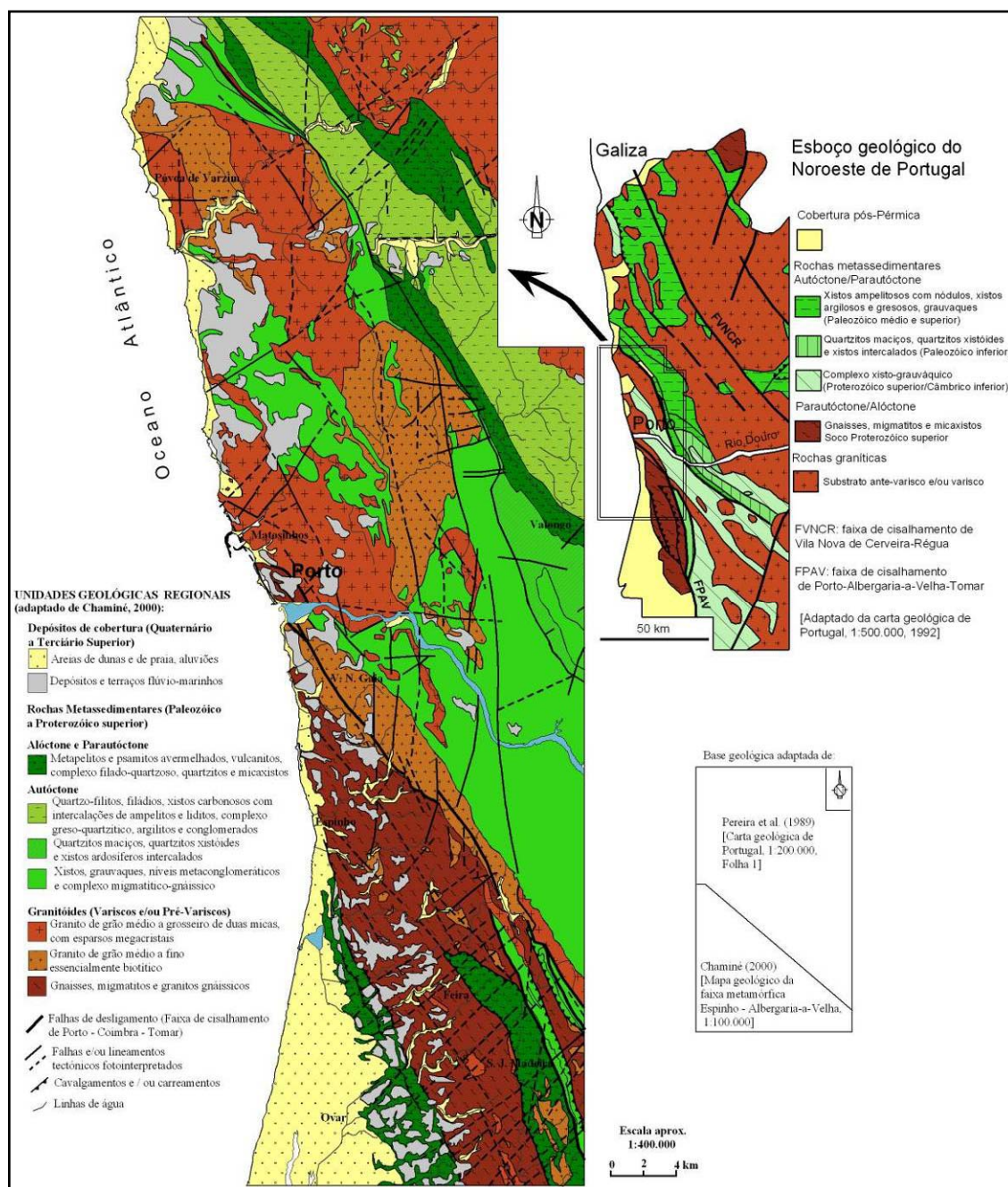


Figura 30. Enquadramento geológico da área metropolitana do Porto (adaptado de Chaminé 2000, Chaminé et al., 2003).

Em termos hidrogeológicos e atendendo, nomeadamente, às características litológicas, estruturais e geomorfológicas, COBA (2003) definiu para a cidade do Porto, cinco unidades hidrogeológicas com diferentes características, tendo sido consideradas para esta avaliação as classes de porosidade e de permeabilidade apresentadas no quadro 24.

Quadro 24. Porosidade e permeabilidade das formações (COBA, 2003).

Permeabilidade	Meio Poroso	Meio Fissurado
Média podendo, por vezes, ser alta	Aluviões	Maciços rochosos muito a medianamente fracturados e medianamente a pouco alterados
Baixa a média	Aterros, depósitos de terraço, solos residuais e maciços decompostos a muito alterados	Maciços rochosos muito a medianamente fracturados e muito medianamente alterados
Baixa a muito baixa	Solos residuais intensamente caulinizados	Maciços rochosos são a pouco alterado e pouco a nada fracturado

As principais características das cinco unidades hidrogeológicas definidas encontram-se sintetizadas no quadro 25.

Quadro 25. Principais características das unidades hidrogeológicas (adaptado de COBA, 2003).

Unidades hidrogeológicas	Litologia	Permeabilidade	Alimentação	Importância	Vulnerabilidade à contaminação	Problemas Geotécnicos
Uh1 Aquífero aluvial com limites permeável a semipermeável	Aluvião	Média, por vezes alta	Directa por infiltração e profunda a partir de fronteira permeável a semipermeável	Aquífero importante quando apresenta espessuras significativas	Maior vulnerabilidade devido ao carácter superficial do aquífero e à sua permeabilidade média, por vezes alta	Importantes devido à ocorrência do nível freático a pequena profundidade. Dificuldades na execução da maioria das obras correntes
Uh2 Aquífero superficial com permeabilidade fissural	Maciço rochoso W3 a W2, F3 a F4 5	Média, por vezes alta	Directa por infiltração	Importante no caso de constituírem aquíferos permanentes, bem como na recarga de aquíferos adjacentes	Maior vulnerabilidade por possuir permeabilidade fissural e devido ao facto de ser superficial	Dificuldades na construção de obras subterrâneas e escavações
Uh3 Aquífero superficial com permeabilidade intersticial, livre	Aterros, depósitos de terraço, coluviões, solos residuais e maciço W4-5	Média a baixa	Directa por infiltração e profunda a partir do substrato permeável a semipermeável	Variável dependendo da espessura da formação	Média a baixa devido à permeabilidade moderada	Por vezes importantes devido à possibilidade de ocorrerem níveis freáticos pouco profundos e de níveis suspensos
Uh4 Aquífero profundo, confinado ou semiconfinado	Solos residuais e/ou maciço W4-5, subjacente a solos muito caulinizados	Média a baixa	Directa por infiltração através dos limites permeáveis e semipermeáveis e profunda a partir do substrato permeável e indirecta por drenância vertical das formações semipermeáveis a impermeáveis	Aquífero importante a moderadamente importante consoante a natureza e continuidade do aquífero	Baixa devido à profundidade do aquífero e à presença de formações semipermeáveis a impermeáveis a superfície	Importante devido à saturação dos níveis caulinizados e à eventualidade de artesianismo
Uh5 Sistema aquífero superficial com permeabilidade intersticial, livre, sobrejacente a formação semipermeável a impermeável, sobre aquífero profundo confinado ou semiconfinado	Aquífero superficial: aluvião e depósitos de terraço Aquífero confinado ou semiconfinado: solos residuais e maciços W4-5	Aquífero superficial: média, por vezes alta Aquífero profundo confinado ou semiconfinado: média a baixa	Aquífero superficial: idem Uh1 Aquífero profundo confinado ou semiconfinado: idem Uh4	Aquífero superficial: idem Uh1 Aquífero profundo confinado ou semiconfinado: idem Uh4	Aquífero superficial: idem Uh1 Aquífero profundo confinado ou semiconfinado: idem Uh4	Aquífero superficial: idem Uh1 Aquífero profundo confinado ou semiconfinado: idem Uh4

Em termos de drenagem de superfície as linhas de água que actualmente atravessam a cidade encontram-se praticamente todas canalizadas, existindo apenas alguns trechos a céu aberto. Contudo, é possível distinguir o percurso natural de antigas linhas de água tendo como referência, nomeadamente, a bibliografia e a cartografia antiga da cidade do Porto, bem como a cartografia actual das manchas aluvionares existentes (COBA, 2003).

A canalização das ribeiras tem sido imposta quer pela forte pressão urbanística, quer pelo facto de estes trechos funcionarem também como colectores de águas pluviais, e por vezes de águas residuais transformando estas em verdadeiros esgotos.

Relativamente às estruturas subterrâneas designadas por minas (de água), a sua presença está frequentemente associada a diversos problemas geotécnicos, tais como assentamentos, aluimentos e inundações. Foram consideradas as seguintes classes de estruturas: água de nascente em galeria (mina) e água de nascente entubada (quadro 26).

Quadro 26. Resumo das características das minas de água da cidade do Porto (adaptado de COBA, 2003).

Designação	Profundidade (m)	Funcionalidade	Estrutura	Fonte
Manancial de Paranhos	Varia entre 3 e 25	Activa. Abastece diversos lavadouros e algumas fontes	Em galeria	SMAS
Manancial de Salgueiros	Desconhecida	Activa sob a Rua Antero Quental até à Rua de Cervantes. Inactiva sob a Rua Fábrica de Salgueiros e as instalações do CCD	Em galeria	SMAS
Manancial de Paranhos - Salgueiros	Desde o Largo Alberto Pimentel até à Praça Gomes Teixeira a uma profundidade inferior a 5m. Restante traçado a profundidade desconhecida	Activa. Abastece diversos fontanários e poços, nomeadamente no Teatro Carlos Alberto, Hospital de Santo António, Maternidade Júlio Dinis e Igreja de S. Bento da Vitória	Em galeria até à Praça de Gomes Teixeira; Entubado no restante trajecto.	SMAS

5.5. Breve análise e classificação climática

As características pluviométricas na região do Porto estão condicionadas, com maior incidência, pelas perturbações atmosféricas de Oeste e pelas situações depressionárias em conjunto com os fluxos marítimos, as quais mantêm ainda, nesta área próxima do oceano, as suas propriedades higrométricas (Velhas, 1991; Monteiro, 1997). A precipitação média anual na região do Porto é cerca de 1152mm, correspondendo o corpo central da estação chuvosa, fundamentalmente, aos meses de Outono e Inverno. Relativamente à temperatura, a média anual nesta região é de 14°C, sendo o mês mais frio o de Janeiro e o mês mais quente o de Julho (Afonso, 1997, 2003).

O clima do Porto, de acordo com o critério de classificação climática de Köppen (*in* Strahler, 1979), inclui-se no tipo *Csb*, correspondendo a um clima mediterrânico, temperado húmido, cujas temperaturas médias rondam os 9,9°C e os 19°C, mínima e máxima respectivamente, segundo a Organização Meteorológica Mundial.

A aplicação do balanço hídrico sequencial (Lencastre & Franco, 1992) revelou a existência de um período húmido extenso, que se inicia em Outubro e se prolonga até meados de Maio, e um período seco de curta duração que vai de Junho a Setembro. A evapotranspiração real obtida através do método de Thornthwaite e Mather conduziu a um valor médio na região de 612.6 mm/ano. Os recursos hídricos subterrâneos, estimados a partir do cálculo da infiltração eficaz (avaliada através do método do balanço de cloretos — Custodio & Llamas, 2001) a qual se contabilizou em ca. de 7%. Os recursos hídricos subterrâneos renováveis cifram-se em $16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, correspondendo a 2.7 l/s/km^2 (Afonso, 2003).

5.6. Fontes de contaminação na região do Porto

O Norte do País, nomeadamente a região do Porto, é constituído predominantemente por rochas graníticas e xistos, as quais são rochas de baixa permeabilidade em que a circulação de água se associa às fracturas e às zonas

de alteração. Por este motivo, os aquíferos são heterogéneos e de recursos limitados. Nesta região, o ordenamento rural está organizado segundo unidades que apresentam grande proximidade entre a origem da água e o depósito de efluente (fossa), o que leva muitas vezes ao contacto entre a captação de água e o esgoto provocando a contaminação do aquífero. Os principais contaminantes estão agrupados em três tipos: urbanos, agrícolas e industriais (Pedrosa et al., 2000).

Das fontes de contaminação urbanas, destacam-se fundamentalmente as de origem biológica, que atingem valores muito elevados. As águas analisadas demonstraram uma grande incidência de coliformes fecais. Além desta contaminação verifica-se, em toda a área, a presença de nitrato, nitrito e amónia. Outro problema que não é exclusivo desta região é o das antigas lixeiras e lixeiras não controladas que carecem de remediação. Não é pelo facto de se cobrir uma lixeira com terra vegetal e colocar-lhe vegetação que se anula o foco de poluição que continua a representar. Mesmo para as que foram convertidas em aterros, sejam eles sanitários, industriais, hospitalares, de resíduos perigosos, etc., nunca é demais insistir na importância do cumprimento das regras de construção. Os cemitérios são também outro foco que merecem alguma atenção para evitar a lixiviação de microorganismos que ponham em causa a saúde pública. A contaminação de origem agrícola não é preocupante, de uma maneira geral nesta região, excepto numa região a Norte de Póvoa de Varzim (“Maceiras” de Estela), na qual o uso não controlado de vários adubos e, principalmente, a extracção de água em poços pouco profundos nos quais muitas vezes se mistura directamente os fertilizantes intensificando o risco de contaminação. A actividade agro-pecuária é igualmente uma importante fonte de contaminação difusa. Finalmente, a poluição industrial é talvez a fonte primordial. A descarga de efluentes industriais, principalmente as águas residuais da indústria têxtil que mesmo com tratamento podem culminar em complexação de metais pesados é a principal fonte de poluição da bacia do rio Ave. As indústrias extractivas de granitos, areais, caulinos são igualmente potenciadores de risco devido à produção de poeiras e à poluição das linhas de água e consequentemente das águas subterrâneas.

5.7. O sector de Arca d'Água – Rua Nova do Regado, Manancial de Paranhos: uma abordagem geoambiental

5.7.1. Enquadramento geológico e hidrogeológico local

A área de estudo desta investigação e, consequentemente, os pontos inventariados estão implantados em duas unidades geológicas: rochas graníticas e aluviões (figura 31).

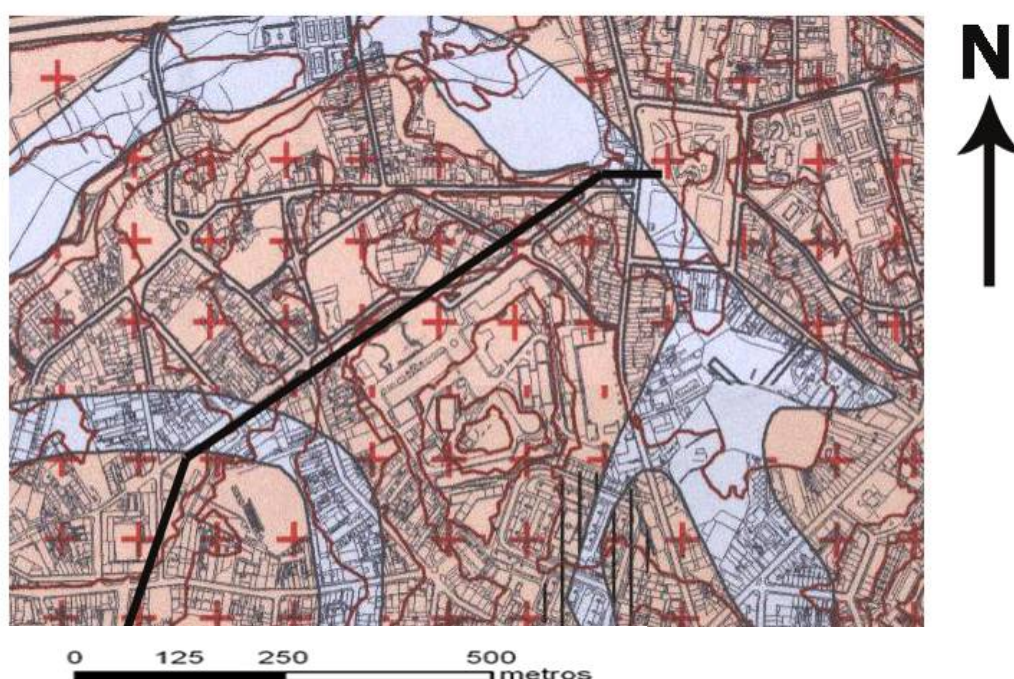


Figura 31. Extracto da “Carta Geológica” da Carta Geotécnica do Porto (COBA, 2003), na área de estudo. As manchas a cinzento correspondem às aluviões e as manchas rosa são rochas graníticas. A traço negro está representado o traçado do túnel.

A cidade do Porto está situada numa região onde a plataforma litoral, considerada como uma superfície de aplanamento de origem subaérea (Ferreira, 1978), corresponde a um conjunto de patamares escalonados, descendo para o mar a partir de uma linha de relevo designada por “relevo marginal”, o qual, na área da cidade, se eleva a partir dos 90m (Araújo, 1991). Em termos geomorfológicos, a área de estudo localiza-se, predominantemente, entre as cotas 100 e 140m como é possível verificar na figura 32.

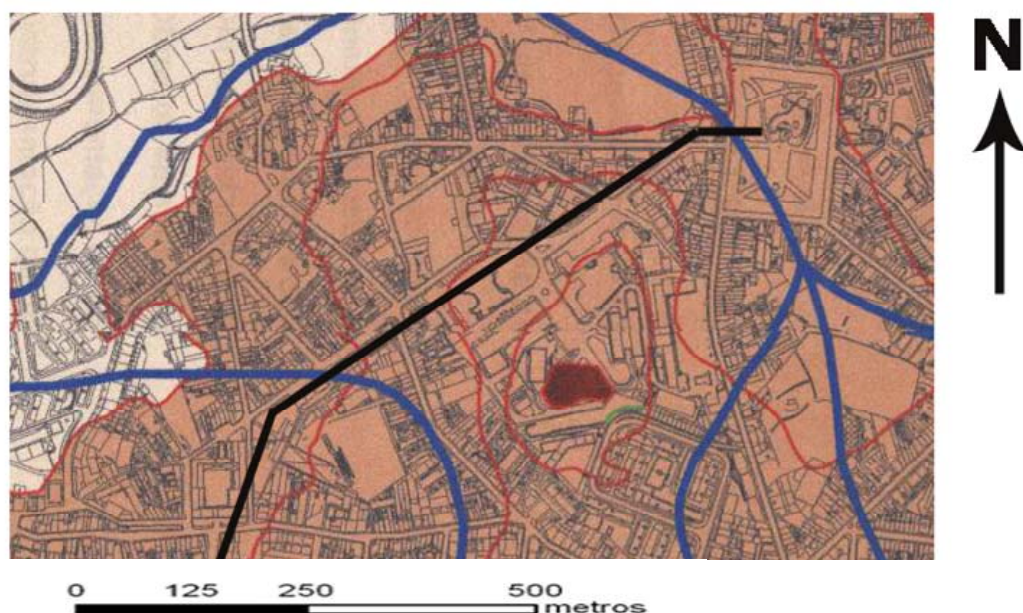


Figura 32. Extracto da “Carta Geomorfológica” da Carta Geotécnica do Porto (COBA, 2003), na área de estudo. A mancha rosa corresponde a cotas entre 40 e 100m; a mancha castanha clara a cotas entre 100 e 140m e a mancha castanha escura a cotas superiores a 140m. As linhas azuis dizem respeito ao traçado natural das linhas de água. A traço negro está representado o traçado do túnel.

Em termos hidrogeológicos, a área de estudo está localizada fundamentalmente nas áreas abrangidas pela unidade hidrogeológica 1 (Uh1 - mancha azul) e pela unidade hidrogeológica 3 (Uh3 - mancha rosa) (figura 33).

A unidade Uh1 diz respeito a formações superficiais permeáveis porosas (aluviões), sobrejacente a formação permeável a semipermeável porosa e fissural (depósitos de terraço, solos residuais, maciço decomposto a muito alterado), sobre formação permeável a semipermeável fissural (maciço rochoso medianamente alterado a são com fracturas abertas). A unidade Uh3 corresponde a formações superficiais permeáveis porosas ou porosa e fissural (aterros, depósitos de terraço, solos residuais, maciço muito alterado a decomposto), sobrejacente a formação permeável a semipermeável fissural (maciço medianamente alterado a são com fracturas abertas), sobre formação impermeável (maciço medianamente alterado a são com fracturas abertas).

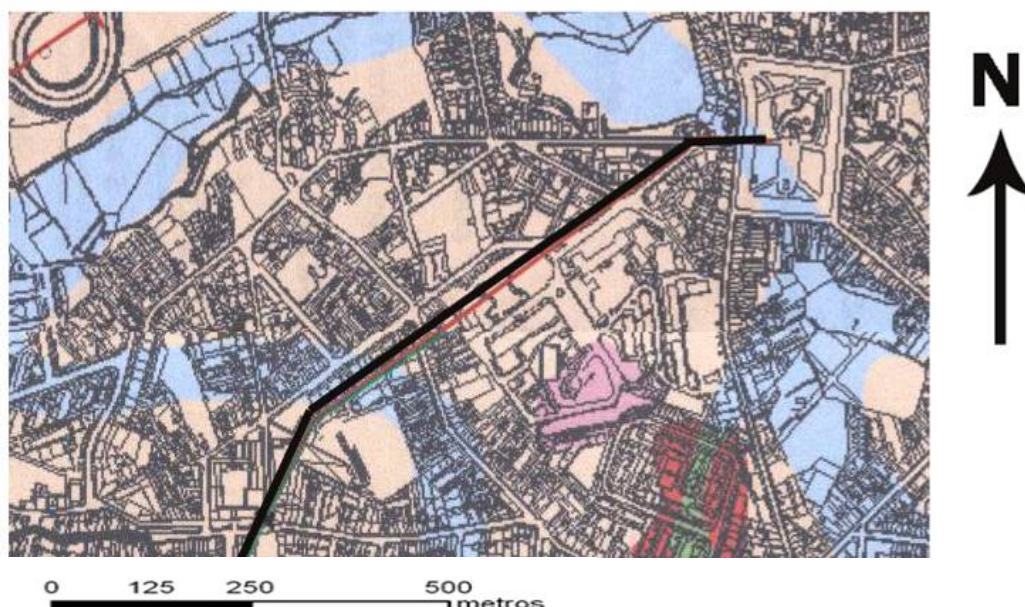


Figura 33. Extracto da “Carta Hidrogeológica” da Carta Geotécnica do Porto (COBA, 2003) na área de estudo. A mancha azul corresponde à unidade Uh1 e a mancha rosa corresponde à unidade Uh3. A traço negro está representado o traçado do túnel.

Analisando as condições de drenagem à superfície constatou-se que a área abrangida pelo traçado do túnel 1 é atravessada por diversas linhas de água (traçado natural e canalizadas) - (figura 34). O coeficiente de escoamento (C), ou seja, o parâmetro que exprime a relação entre caudais de ponta e intensidades de precipitações máximas com o mesmo período de retorno apresenta valores indicativos na área de: $C > 0,75$ (mancha branca) e/ou $0,45 < C < 0,75$ (mancha verde). Este depende sobretudo das características e condições de infiltração do solo, da intensidade de precipitação, da proximidade do nível freático, do grau de compactação do solo, da porosidade do subsolo, do coberto vegetal, do declive dos terrenos, da tipologia de ocupação, do período de retorno de cálculo, etc.

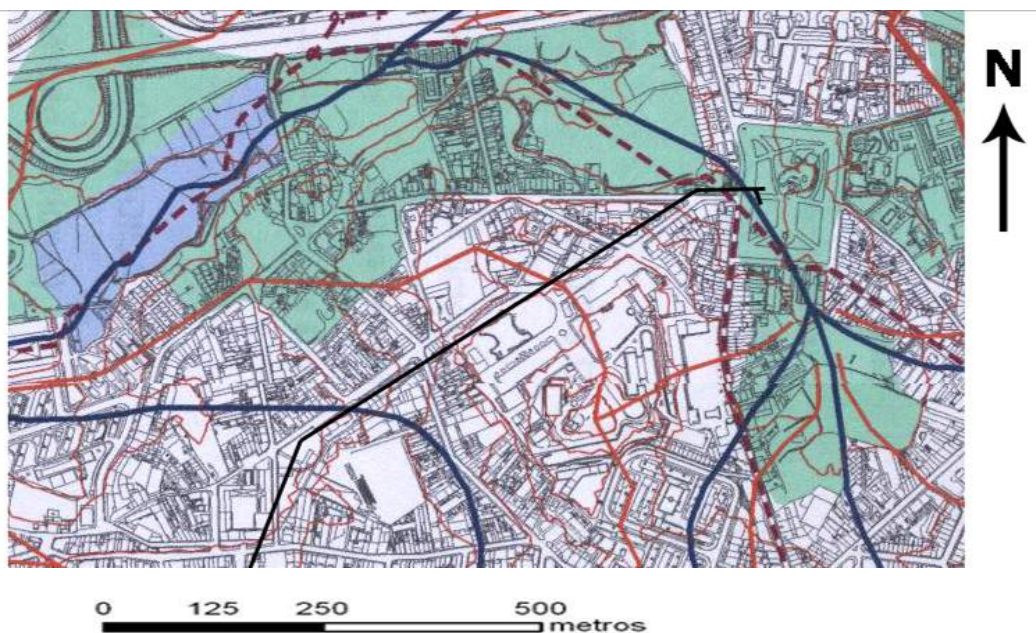


Figura 34. Extracto da “Carta de Condições de Drenagem de Superfície” da Carta Geotécnica do Porto (COBA, 2003), na área de estudo. A mancha verde corresponde a um coeficiente de escoamento (C) com valores compreendidos em 0,45 e 0,75 e a mancha branca a valores de $C < 0,75$. As linhas azuis correspondem ao traçado natural e as linhas intermitentes aos trechos canalizados. A traço negro está representado o traçado do túnel.

Tendo a possibilidade de dispor do esboço hidrogeológico do traçado subterrâneo do túnel 1 (Afonso et al., 2006b,c) é possível confrontar com todos os restantes dados de forma a alcançar resultados o mais completo e válidos possíveis (figura 35).

A partir da sua análise é possível verificar ao pormenor as condições geológicas bem como alguns parâmetros hidrogeológicos ao longo do traçado e tentar aferir a contribuição para o maior ou menor risco de susceptibilidade.

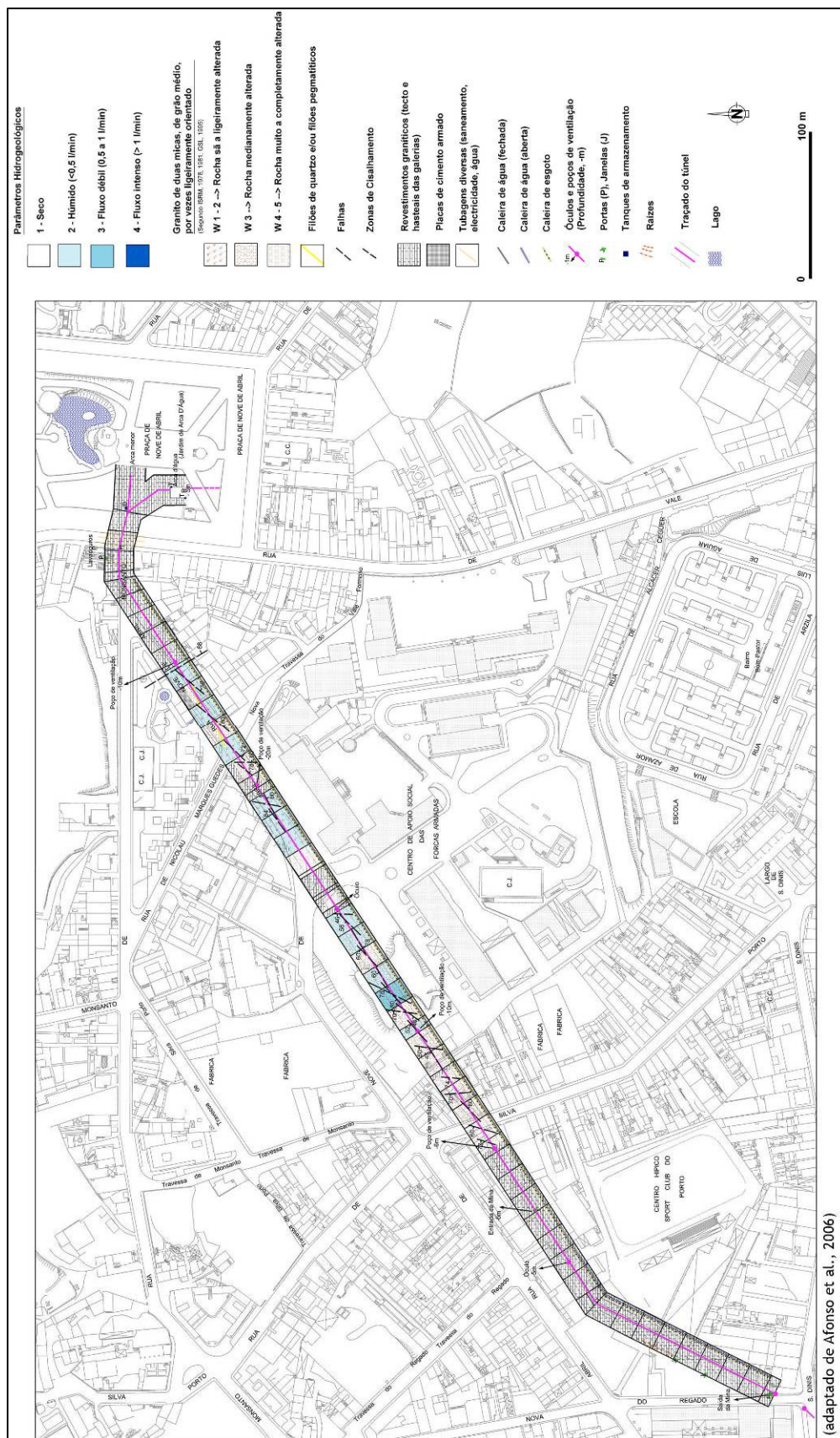


Figura 35. Esboço hidrogeológico do traçado subterrâneo (segundo Afonso et al., 2006b).

5.7.2. Amostragem

Tendo em vista uma melhor compreensão das potenciais fontes de contaminação localizadas à superfície na envolvente ao traçado do manancial de Paranhos (sector de Arca d'Água – Rua Nova do Regado), elaborou-se, em primeiro lugar, uma pesquisa das principais fontes bibliográficas, recorrendo-se a informação diversa disponível pela Câmara Municipal do Porto, nomeadamente, o Plano Director Municipal e a Carta Geotécnica do Porto (COBA, 2003). De seguida, concebeu-se, tal como foi referido, uma ficha de inventário para ser utilizada posteriormente no trabalho de campo. Numa fase posterior, escolheu-se a base cartográfica 1/2.500 e uma área de trabalho de 200 metros para ambos os lados do traçado do túnel do Manancial de Paranhos, para apoiar o inventário das fontes de contaminação.

O inventário hidrogeológico incidiu, essencialmente, sobre os pontos de água da área subterrânea abrangida pela zona dos túneis do Manancial de Paranhos, no sector de Arca d'Água – Rua Nova do Regado (ver anexo I). Dentre os pontos de água inventariados, foram seleccionados seis (6) nos quais se procedeu à colheita de amostras para análise de alguns parâmetros físico-químicos (quadro 27).

Quadro 27. Valores de pH, condutividade eléctrica e temperatura dos pontos de amostragem para análises físico-químicas.

Pontos de inventário ID	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	pH
3 (Análise H4)	435	15,9	5,93
6 (Análise H5)	418	16,0	6,03
8 (Análise H3)	460	16,1	5,7
10 (Análise H1)	480	15,7	5,84
11 (Análise H2)	500	16,0	5,30
13 (Análise H6)	437	16,0	6,36

Na figura 36 apresenta-se o mapa com os 54 pontos das potenciais fontes de contaminação inventariadas, sintetizando-se no quadro 28 os referidos pontos.

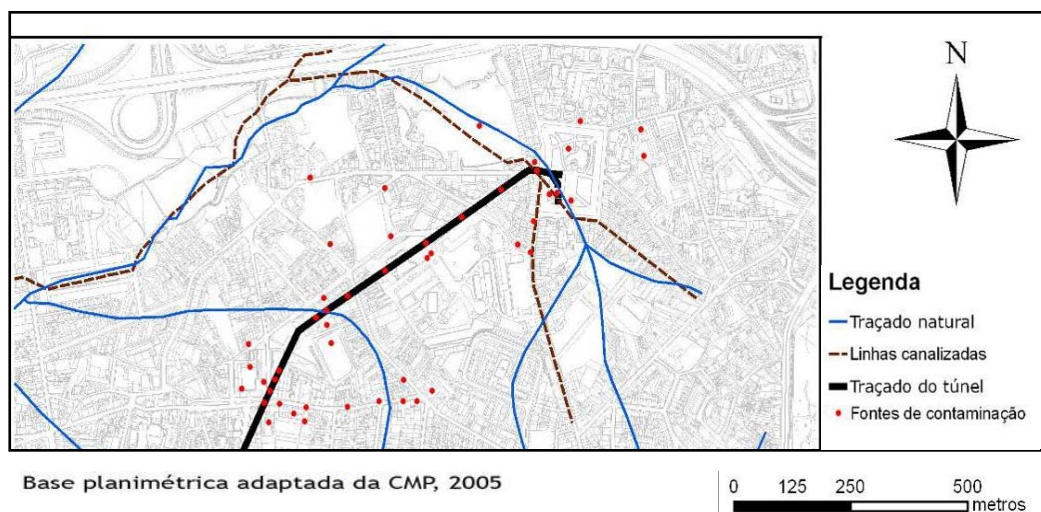


Figura 36. Mapa de inventário das fontes de contaminação.

Relativamente às fontes de contaminação, das 54 inventariadas, constatou-se que os acessos aos túneis, os quais abrangem os poços (e óculos) de ventilação, as janelas e as portas de entrada e/ou saída, são as fontes com maior destaque representando 24% dos pontos inventariados. Seguem-se as oficinas de automóveis que totalizam 17% dos pontos.

Para a classificação das fontes de contaminação em termos de tipologia, adoptou-se a categorização proposta por Zaporozec (2004), apresentada anteriormente. Como se viu, esta proposta classifica as fontes em pontuais, lineares e difusas (ver anexo II). A maioria das fontes é pontual, com excepção dos pontos 4, 7 e 11, que foram classificadas como pontuais e difusas. A classificação das fontes 7 e 11 como difusas deveu-se ao facto de estas serem jardins, pelo que envolvem a utilização de fertilizantes e pesticidas e onde se aplica a prática da irrigação; quanto à fonte 4, correspondente a um picadeiro, esta classificou-se como difusa, devido ao facto de existirem dejectos de cavalos.

A figura 37 apresenta um mapa com os pontos de amostragem seleccionados para as análises ecotoxicológicas.

Quadro 28. Inventário das 54 fontes de contaminação na área envolvente ao túnel de Arca d'Água -Rua Nova do Regado.

Nº de Inventário	Designação	Tipologia
1	Oficina de Automóveis	Pontual
2	Oficina de Automóveis	Pontual
3	Oficina de Automóveis	Pontual
4	Picadeiro	Pontual e Difusa
5	Oficina de Automóveis	Pontual
6	Oficina de Automóveis	Pontual
7	Jardim com lago	Pontual e Difusa
8	Oficina de Automóveis	Pontual
9	Balneário com Instalações Sanitárias	Pontual
10	Indústria Metalúrgica	Pontual
11	Jardim	Pontual e Difusa
12	Oficina Automóveis	Pontual
13	Indústria de fios eléctricos	Pontual
14	Oficina de Automóveis	Pontual
15	Clínica Médica de Monsanto	Pontual
16	Hospital Veterinário do Porto	Pontual
17	Lago Artificial	Pontual
18	Óculo	Pontual
19	Óculo	Pontual
20	Furo militar Activo	Pontual
21	Furo militar Abandonado	Pontual
22	Oficina de Automóveis	Pontual
23	Óculo	Pontual
24	Acesso ao túnel	Pontual
25	Acesso ao túnel	Pontual
26	Canil	Pontual
27	Bomba Gasolina	Pontual
28	Porta do lavadouro	Pontual
29	Acesso ao túnel	Pontual
30	Óculo	Pontual

Quadro 28. Inventário das 54 fontes de contaminação na área envolvente ao túnel de Arca d'Água
-Rua nova do Regado (continuação).

Nº de Inventário	Designação	Tipologia
31	Óculo	Pontual
32	Óculo	Pontual
33	Mictório	Pontual
34	Acesso ao túnel	Pontual
35	Acesso ao túnel	Pontual
36	Bomba de Gasolina	Pontual
37	Edifício Abandonado dos SMAS	Pontual
40	Jardim-escola João de Deus	Pontual
41	Serviços de Tuberculose e Doenças Respiratórias	Pontual
45	Associação contra a tuberculose do Porto	Pontual
71	Oficina de automóveis	Pontual
72	Lavandaria	Pontual
73	Clínica dentária	Pontual
74	Clínica Médico-Cirúrgica	Pontual
75	Repartição de limpeza urbana	Pontual
84	Ordem dos Médicos	Pontual
85	Furo da Ordem dos Médicos	Pontual
86	Universidade Fernando Pessoa	Pontual
87	Fábrica das meias	Pontual
88	Oficina	Pontual
90	Furo (polícia)	Pontual
91	Acesso ao túnel	Pontual
94	Óculo	Pontual
101	Lavadouro	Pontual

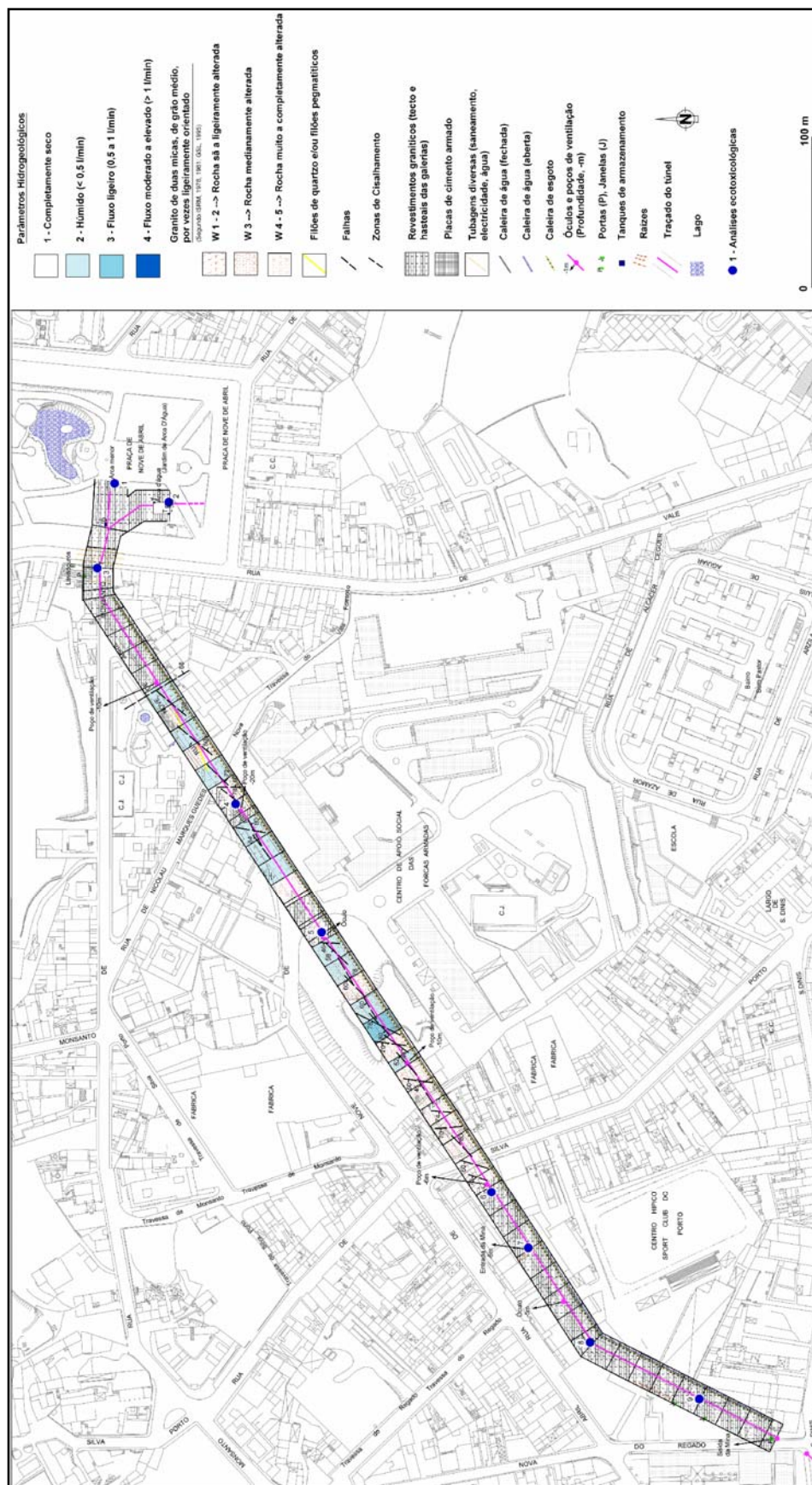


Figura 37. Mapa dos pontos de amostragem seleccionados para as análises ecotoxicológicas.

5.7.3. Resultados e discussão hidrogeológica

Considerações iniciais

O Túnel 1 tem uma extensão de cerca de 1km. Tem início no Jardim d'Arca de Água, prolonga-se ao longo da Rua 9 de Abril e termina na Rua Nova do Regado (figura 38).

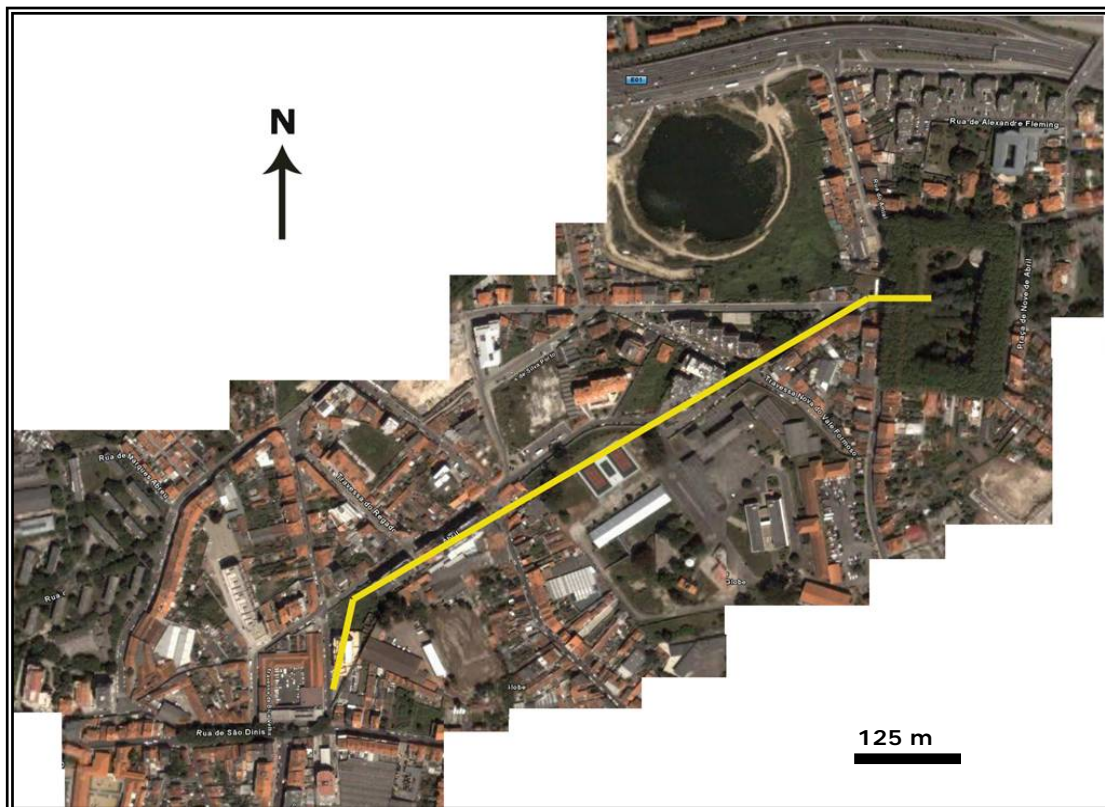


Figura 38. Imagem de satélite do traçado do Túnel 1 (adaptado de <http://earth.google.com/>).

Em termos geológicos constata-se que grande parte do traçado do Túnel 1 se localiza na unidade das rochas graníticas. No entanto, a extremidade NE do túnel, bem como um troço próximo da extremidade SO, localizam-se na mancha aluvionar (ver figura 31). Esta particularidade poderá ter reflexos nos mapas de susceptibilidade, como iremos verificar mais à frente. Relativamente às condicionantes hidrogeológicas e de drenagem de superfície, este túnel, é intersectado por diversas linhas de água (ver figura 34), localizadas nas imediações da entrada e/ou saída, as quais coincidem, curiosamente, com as

manchas aluvionares que se inserem na unidade hidrogeológica Uh1, diferente da unidade do restante traçado, isto é da unidade Uh3 (ver figura 31). Em termos hipsométricos, as cotas mantêm-se constantes, no intervalo entre os 100 e os 140m (ver figura 32).

Análise dos parâmetros físico-químicos

Para avaliar o grau de contaminação de uma água é fundamental fazer a sua caracterização do ponto de vista físico-químico.

Desta forma, a caracterização das águas do Manancial de Paranhos, desenvolvida neste trabalho teve como principais objectivos:

- Verificar qual o estado actual das águas do Manancial de Paranhos;
- Verificar se alguns parâmetros físico-químicos estão em confronto com a legislação em vigor (normas de qualidade para água de consumo humano);
- Determinar os índices de qualidade geral e específico;
- Estudar alternativas para o uso da água.

Os ensaios analíticos de cada parâmetro físico-químico foram realizados pelo Centro de Estudos de Águas (CEA) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

No quadro 29 apresentam-se os resultados obtidos na caracterização físico-química dos seis pontos seleccionados.

Quadro 29. Síntese dos resultados das análises físico-químicas dos pontos de amostragem.

PARÂMETROS	VALORES OBTIDOS					
	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Azoto Amoniacal (mg/L NH ₄)	<0,04	<0,04	0,10	<0,04	<0,04	<0,04
Bicarbonatos (mg/L HCO ₃)	39	16	33	32	32	32
Cálcio total (mg/L Ca)	35	31	35	33	34	35
Cloretos (mg/L Cl)	35	38	37	37	37	37
Condutividade (μS/cm) a 25°C	435	423	435	437	434	434
Magnésio total (mg/L Mg)	5,4	4,8	4,8	4,8	4,9	4,8
Nitratos (mg/L NO ₃)	57	64	60	59	60	60
Nitritos (μg/L NO ₂)	<13	<13	<13	<13	<13	<13
Potássio total (mg/L K)	9,7	9,8	9,9	9,8	10	10
Sílica (mg/L SiO ₂)	6,6	6,5	6,9	6,1	6,8	6,9
Sódio total (mg/L Na)	32	32	32	33	34	33
Sulfatos (mg/L SO ₄)	66	65	71	68	69	69
Temperatura (°C)	15,7	16,0	16,1	15,9	16,0	16,0
pH (Unid. Sorensen)	5,5	5,35	5,7	5,93	6,03	6,36

Apresenta-se, seguidamente, uma análise para cada parâmetro físico-químico analisado, com excepção dos nitritos e do azoto amoniacal.

Em relação ao parâmetro condutividade eléctrica verificam-se ligeiras oscilações nos valores registados ao longo da amostragem (figura 39). O valor mais elevado refere-se ao ponto H4, enquanto que o valor mais baixo corresponde ao H2.

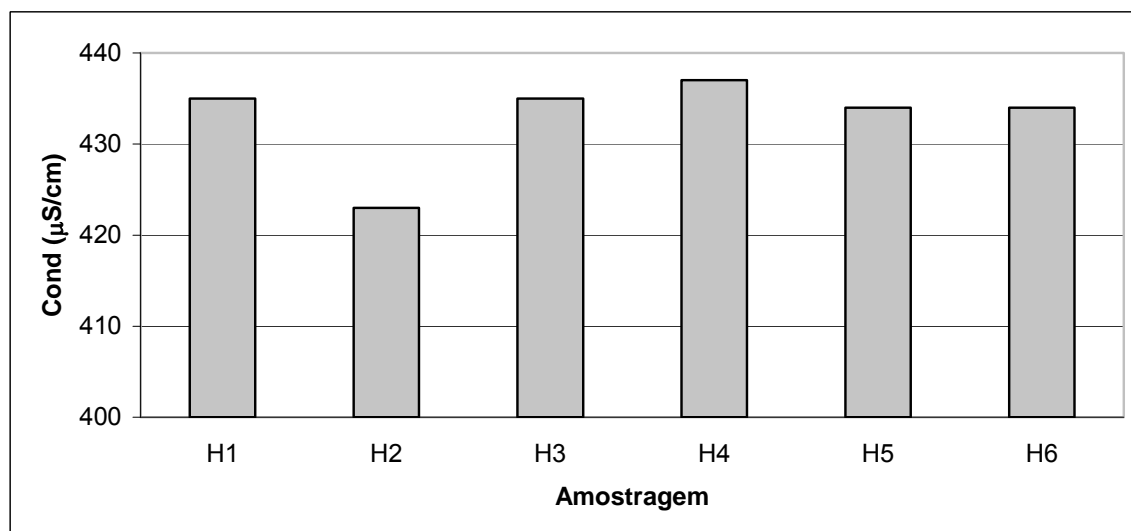


Figura 39. Valores de condutividade eléctrica vs amostragem.

No que diz respeito aos nitratos, a amostra H2 é que apresenta um valor mais elevado, enquanto que o valor mais baixo corresponde ao H1 (figura 40).

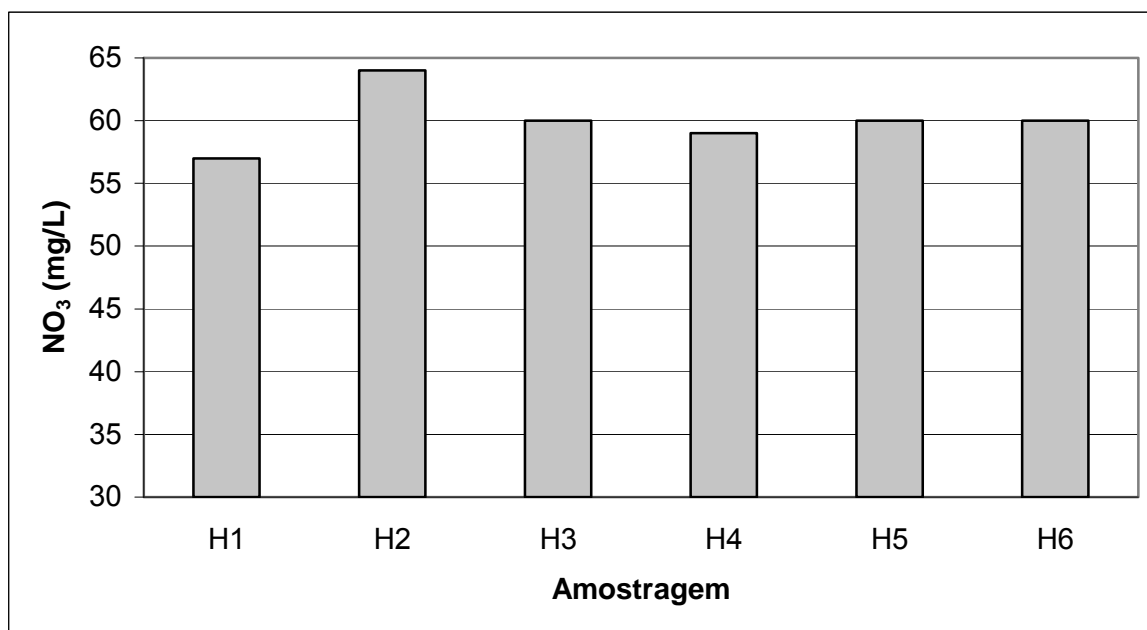


Figura 40. Valores de nitratos vs amostragem.

Relativamente aos bicarbonatos, pode-se verificar que o valor mais baixo corresponde à amostra H2, enquanto que o mais elevado diz respeito à H1 (figura 41).

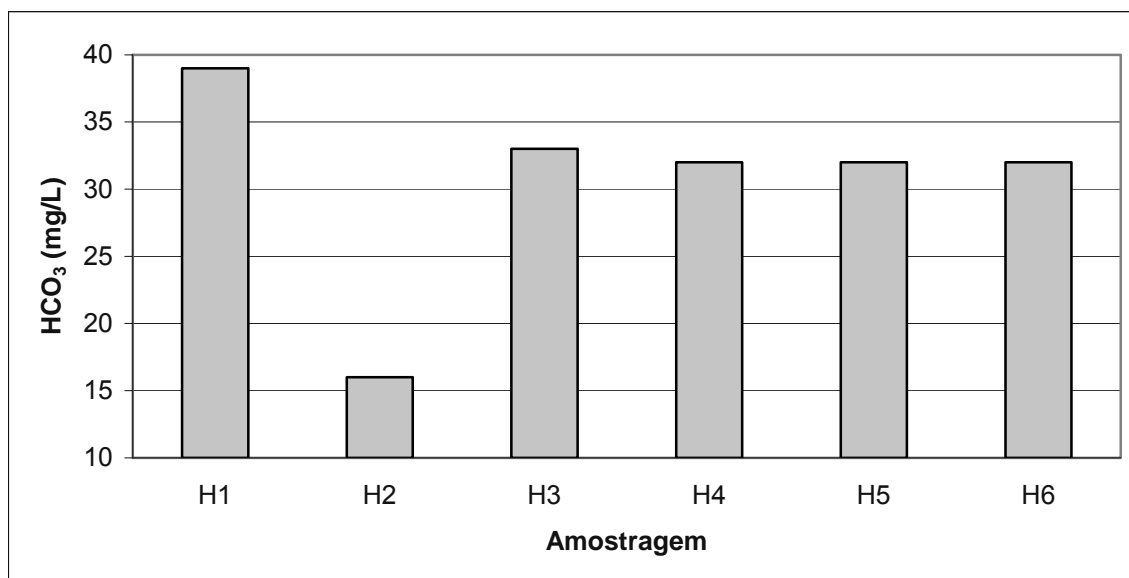


Figura 41. Valores de bicarbonatos vs amostragem.

Em relação ao parâmetro cálcio, podem-se verificar oscilações nos valores das amostragens (figura 42), situando-se o valor mais elevado nos pontos H1/H3/H6. Os pontos de amostragem revelam, em regra, baixo teor em cálcio, localizando-se o menor valor no ponto H2.

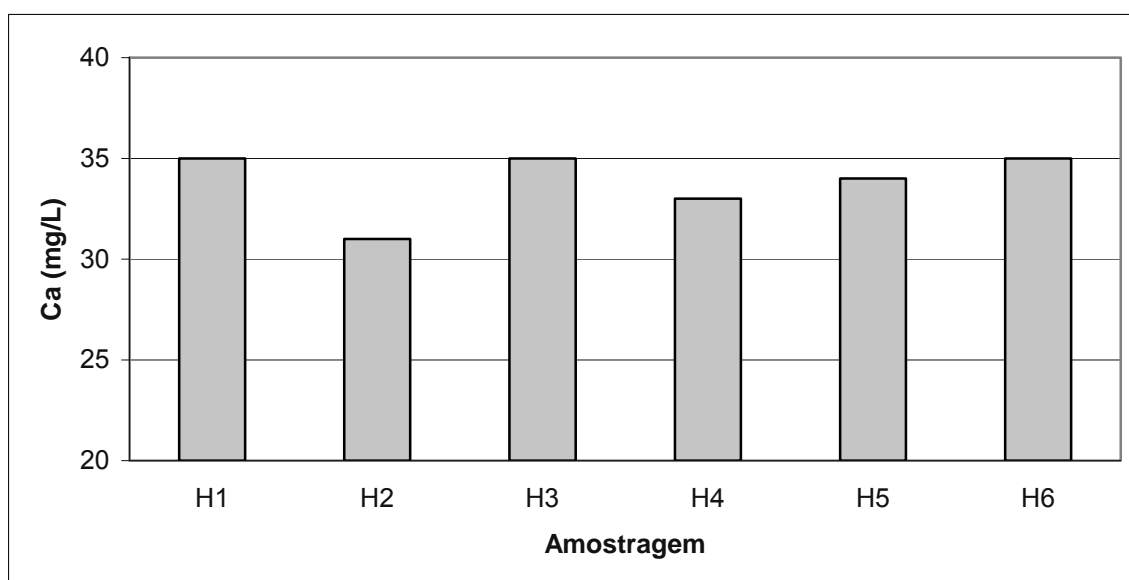


Figura 42. Valores de cálcio vs amostragem.

Os valores referentes aos cloretos (figura 43) são muito próximos em todos os pontos de amostragem, situando-se o valor mais baixo no ponto H1.

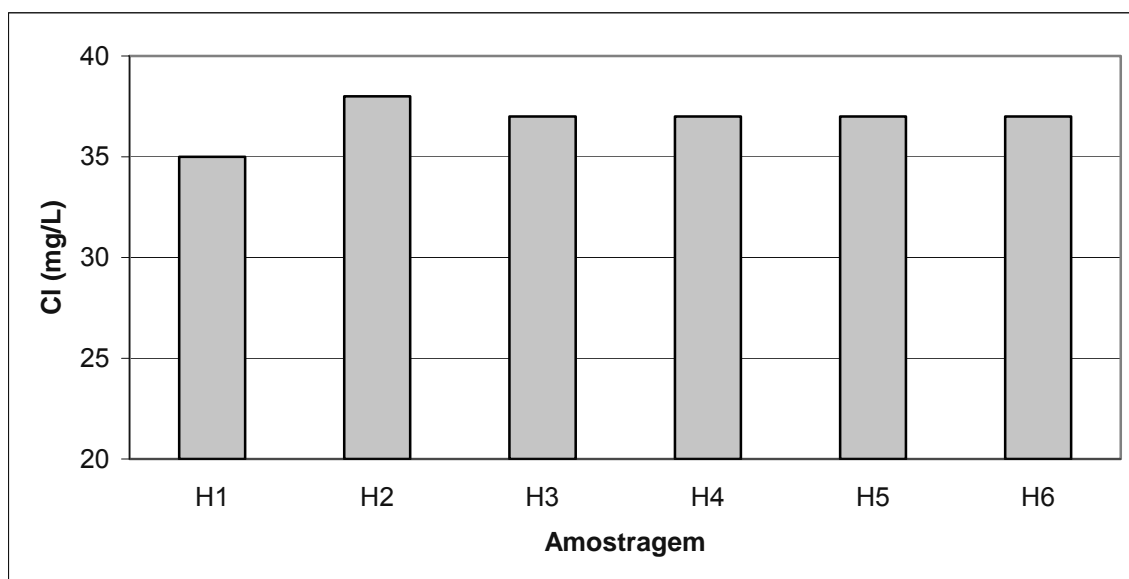


Figura 43. Valores de cloretos vs amostragem.

Os valores correspondentes ao magnésio são, regra geral, pouco variáveis, estando o valor mais elevado no ponto H1 (figura 44).

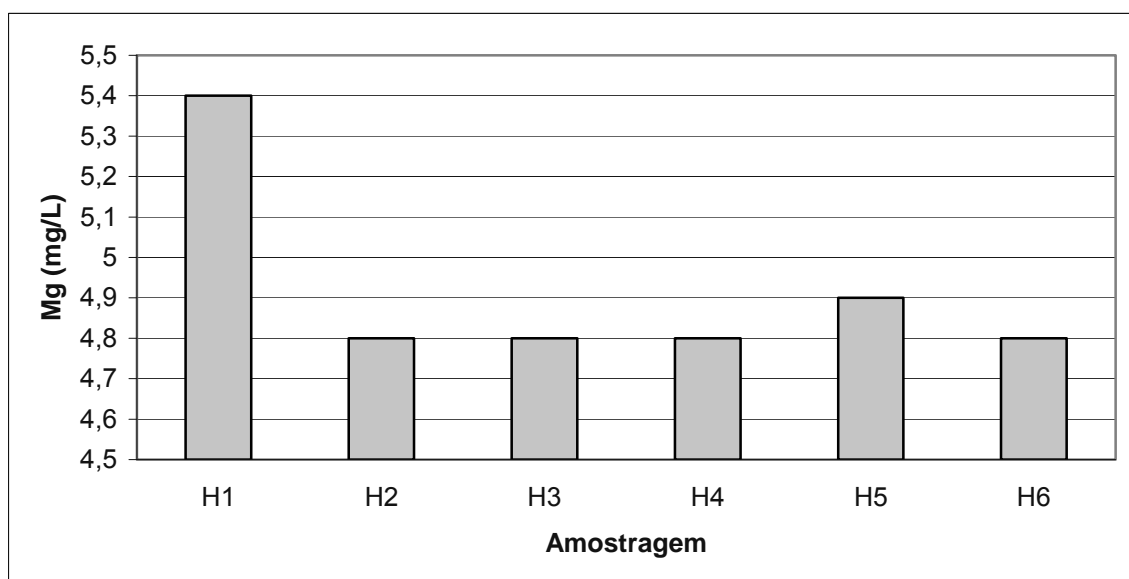


Figura 44. Valores de magnésio vs amostragem.

Das amostras recolhidas, os valores referentes ao potássio são, na sua maioria, muito próximos de 10 mg/L (figura 45).

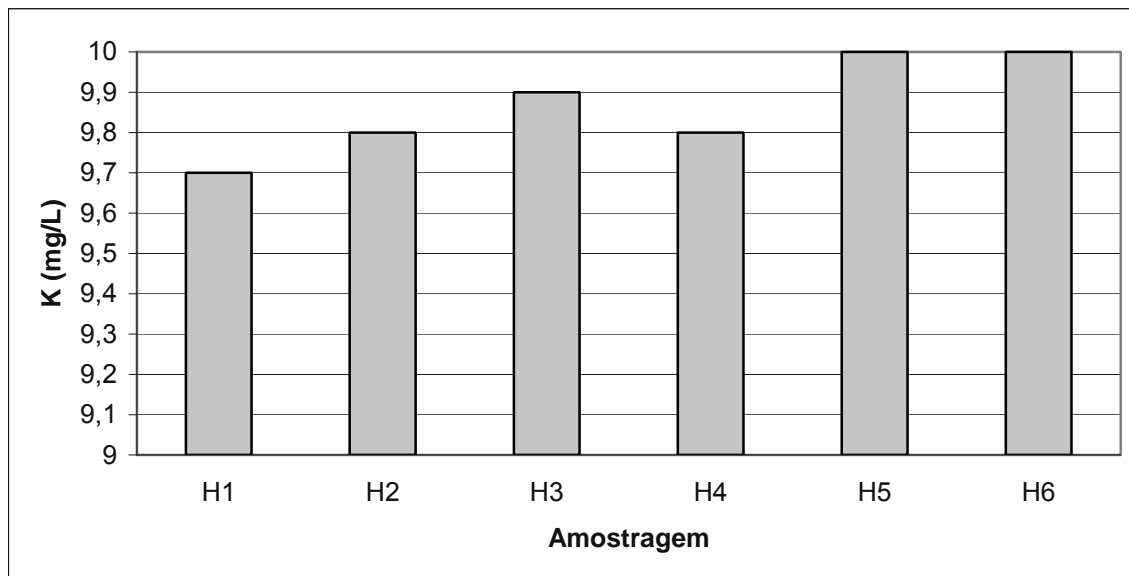


Figura 45. Valores de potássio vs amostragem.

Quanto à sílica, observam-se pequenas variações, destacando-se, no entanto, um valor mais elevado nas amostras H3 e H6 e um valor mais baixo na H4 (figura 46).

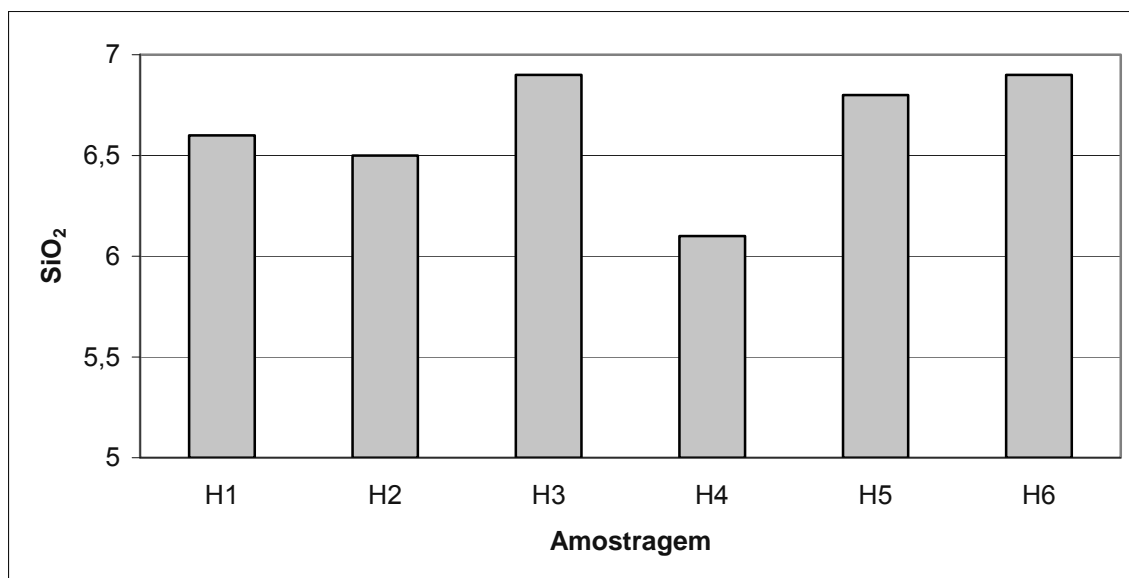


Figura 46. Valores de sílica vs amostragem.

Relativamente ao sódio, os valores não são muito variáveis (figura 47).

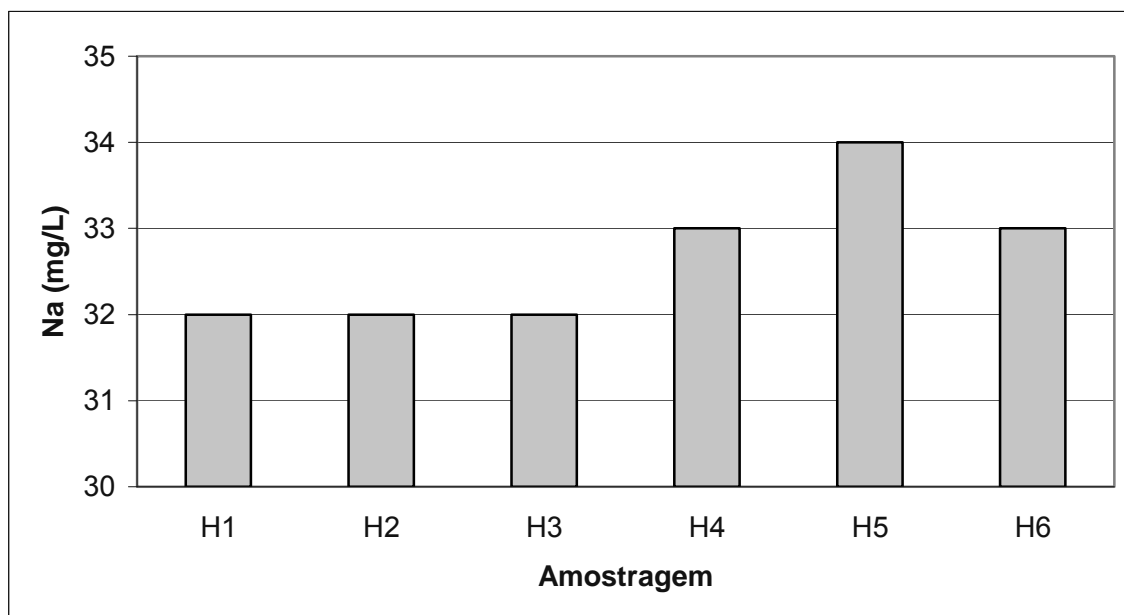


Figura 47. Valores de sódio vs amostragem.

No que diz respeito aos sulfatos (figura 48), não se observam grandes oscilações, situando-se os valores, na sua maioria, entre 65 e 70mg/L.

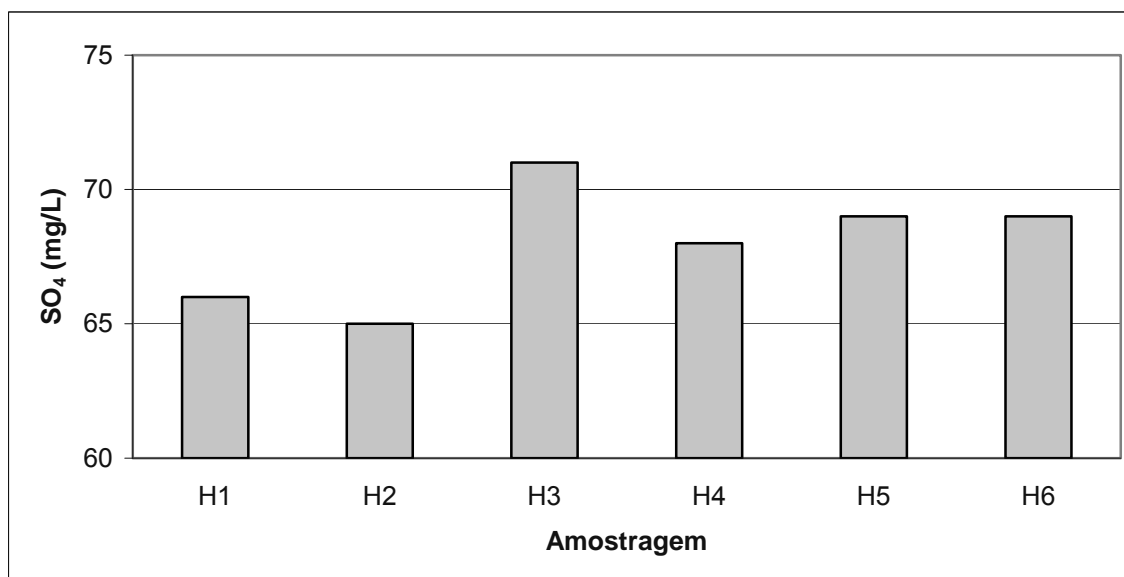


Figura 48. Valores de sulfatos vs amostragem.

Quanto aos valores de pH, estes são, de um modo geral, superiores a 5,5 e inferiores a 6,5 (figura 49).

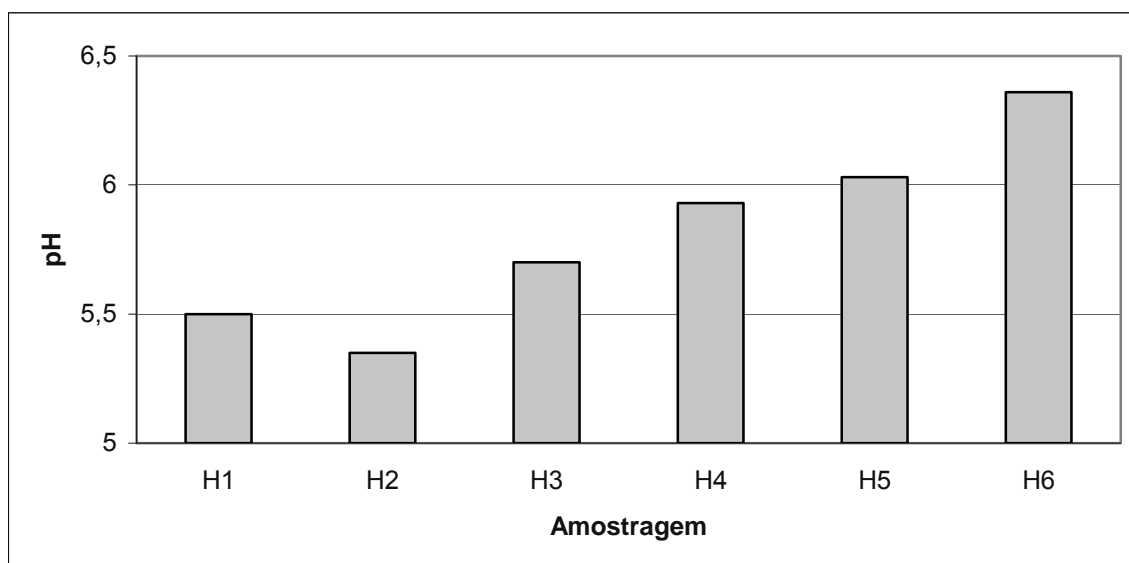


Figura 49. Valores de pH vs amostragem.

No que diz respeito à temperatura, não se verificam grandes alterações. Para todas as amostras foram observadas temperaturas superiores a 15,5°C e inferiores a 16,5°C (figura 50).

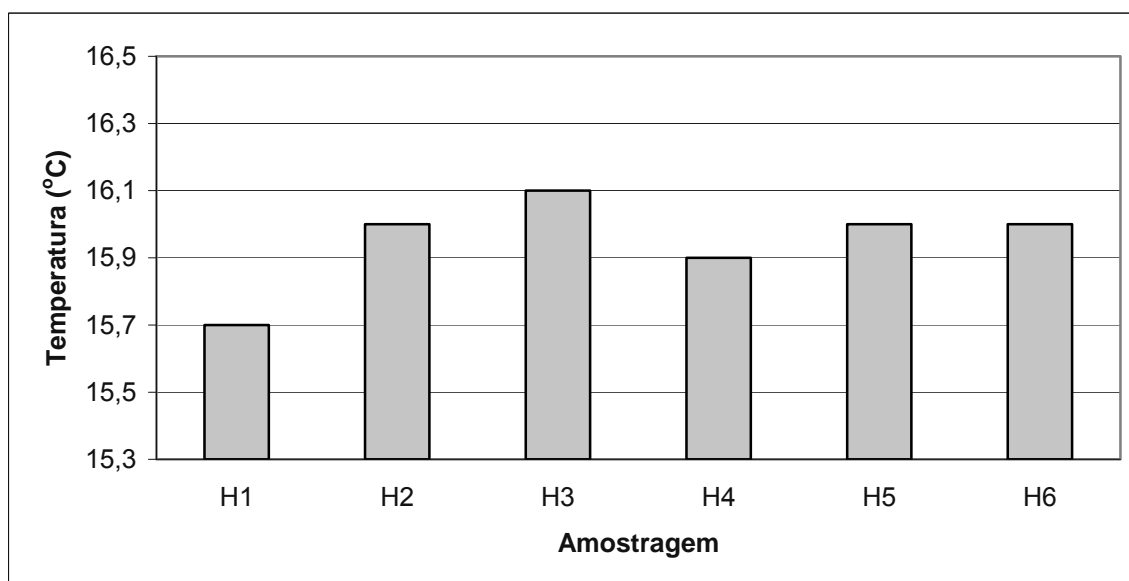


Figura 50. Valores de temperatura vs amostragem.

A caracterização da fácies hidroquímicas foi estabelecida através da projecção no diagrama de Piper (figura 51). Relativamente aos catiões, pode-se verificar que são do tipo misto, sódico/cálcico. Quanto aos aniões, estes também não têm um tipo dominante, sendo cloretadas/sulfatadas, com a excepção da amostra H2, a qual é uma água sulfatada.

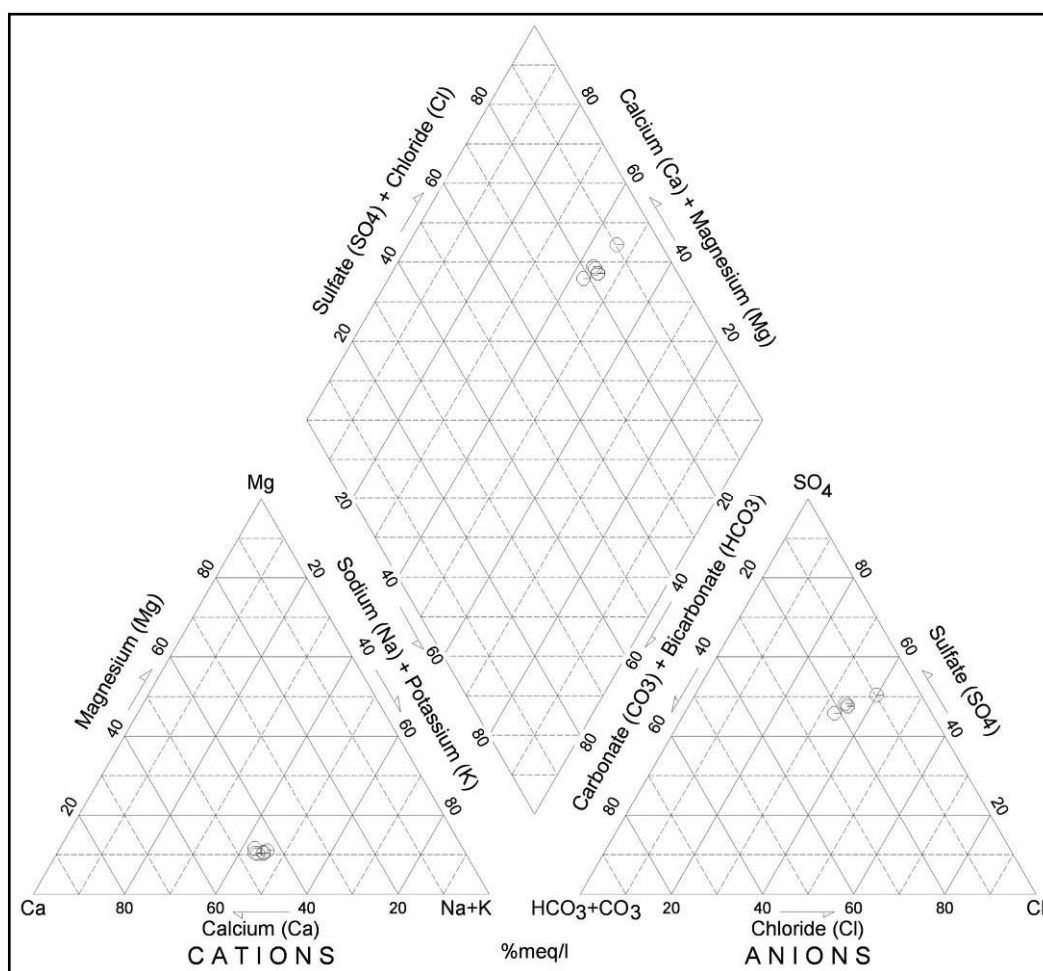


Figura 51. Diagrama de Piper relativo à amostragem realizada.

Complementarmente ao diagrama de Piper, foram construídos os diagramas de Stiff para cada um dos 6 pontos de amostragem (figura 52).

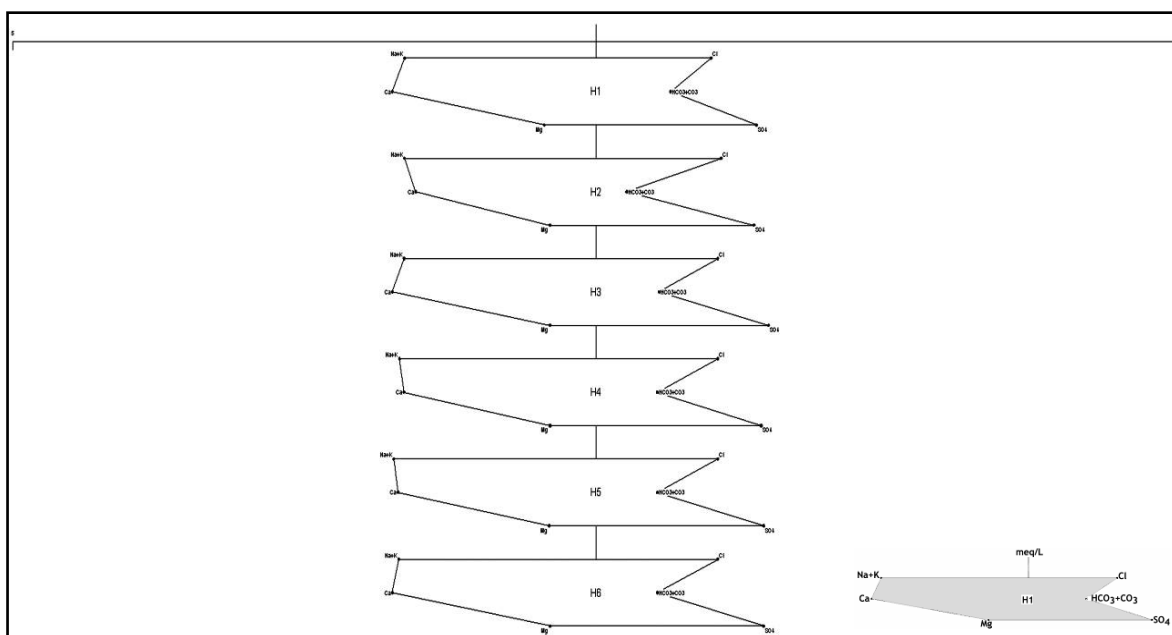


Figura 52. Diagramas de Stiff relativos à amostragem realizada.

A avaliação da qualidade da água para consumo humano foi feita com base nos valores-limite fixados pela legislação em vigor em Portugal. Relativamente às amostras H1 a H6, verifica-se que as águas são impróprias para consumo humano devido ao elevado teor em nitratos. Todos os restantes parâmetros se encontram dentro dos valores recomendados para água de consumo humano. Em síntese, poder-se-á concluir que todas as águas amostradas são impróprias para consumo humano.

Quanto à aptidão das águas para uso agrícola, recorreu-se ao diagrama de Wilcox. Para a projecção das amostragens neste diagrama, os valores de sódio, de cálcio e de magnésio foram convertidos de mg/L a meq/L e, posteriormente, foi calculada a taxa de adsorção de sódio (TAS). Estes valores encontram-se sumariados no quadro 30.

Quadro 30. Síntese dos valores da taxa de adsorção de sódio.

Pontos de amostragem	Sódio [Na ⁺]		Cálcio [Ca ²⁺]		Magnésio [Mg ²⁺]		TAS
	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	mg/L	meq/L	
H1	32	1,4	35	1,7	5,4	0,4	1,3
H2	32	1,4	31	1,5	4,8	0,4	1,4
H3	32	1,4	35	1,7	4,8	0,4	1,3
H4	33	1,4	33	1,6	4,8	0,4	1,4
H5	34	1,5	34	1,7	4,9	0,4	1,4
H6	33	1,4	35	1,7	4,8	0,4	1,4

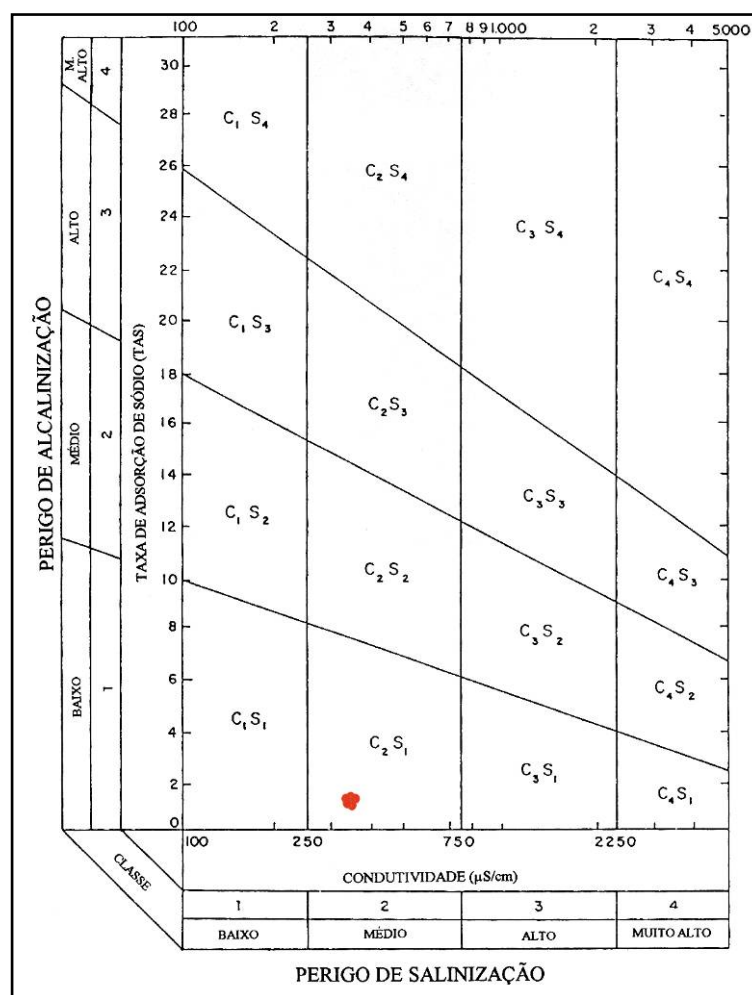


Figura 53. Diagrama de Wilcox relativo à amostragem realizada (pontos amostrados a vermelho).

A análise deste diagrama permite concluir que todas as águas em estudo se situam no campo C_2S_1 , significando que se trata de águas que oferecem um baixo perigo de alcalinização e um perigo médio de salinização do solo. Desta forma, estas águas podem ser usadas para rega em circunstâncias que exista um grau moderado de lavagem, não se esperando sérios prejuízos no desenvolver da vegetação; somente as plantas muito sensíveis como as árvores de fruto e os abacates são danificados.

De acordo com o Decreto-Lei nº236/98, referente à qualidade das águas destinadas à rega, pode-se verificar que o valor máximo recomendável para os nitratos é de 50mg/L. A maioria das amostras apresenta valores superiores, o que significa que estas concentrações podem afectar a produção e qualidade das culturas sensíveis e no plano de fertilização da parcela convirá contabilizar o azoto veiculado pela água de rega.

Cartografia de susceptibilidade de fontes de contaminação

Critérios e abordagem adoptada

Os critérios subjacentes à concepção dos mapas de susceptibilidade à contaminação das águas subterrâneas são descritos seguidamente. A metodologia adoptada consistiu, inicialmente, na divisão do traçado do túnel do Manancial de Paranhos em três trechos, previamente definidos – túnel 1 (presente estudo), túnel 2 e túnel 3.

Seguidamente, e considerando apenas o túnel 1, objecto deste estudo, foram atribuídos, além das fontes de contaminação inventariadas (anexo II), as linhas de água, a rede viária principal e os quarteirões. Todas as fontes de contaminação inventariadas *in situ* foram consideradas como pontuais; as linhas de água foram classificadas como fontes lineares, bem como a rede viária e o próprio traçado do túnel 1; relativamente aos quarteirões, estes foram representados por um ponto simbolizando o centro do polígono e, desta forma, foram consideradas como fontes pontuais.

A cada um dos intervenientes anteriores, foi atribuída uma ponderação de 1, 2 e 3, correspondendo estes algarismos, de forma qualitativa a um peso baixo, médio e elevado, respectivamente. A escolha desta ponderação numérica foi feita para facilitar o cálculo das densidades no ArcGis 9.1.

A análise da susceptibilidade foi feita através da soma dos níveis de informação referentes a cada um dos parâmetros referidos. Ensaíram-se 10 cenários para a área envolvente ao túnel 1, isto é, para cada uma das fontes pontuais e lineares, foi estabelecida uma área de influência de 25m, 50m, 75m, 100m, 125m, 150m, 200m, 300m, 400m e 500m. A escolha destes cenários consistiu num ensaio metodológico tentando empregar como critério a razão de proporcionalidade com a área de estudo. Desta forma, foram criados 10 mapas hidrogeológicos temáticos (figuras 54 e 55).

A avaliação da susceptibilidade à contaminação foi feita através de três graus: baixa, moderada e elevada. A cada um dos graus corresponde um código

de cores definido com base nas propostas de UNESCO (1983), Vrba & Zaporozec (1994), Stuckmeier & Margat (1995) e Zaporozec (2004), a saber: azul — *baixa*, laranja — *moderada* e vermelho — *elevada*.

Análise da susceptibilidade à contaminação

Para os raios de influência de 25m, 50m, 75m constata-se que a susceptibilidade mais elevada se focaliza nas imediações do traçado do túnel. Este facto deve-se muito provavelmente aos inúmeros acessos ao túnel (e.g. óculos e/ou poços de ventilação), muitos dos quais, sendo pouco estanques, constituem veículos preferenciais à circulação de contaminantes.

A susceptibilidade moderada surge como uma ramificação discreta a partir do traçado do túnel e é bastante influenciada pela presença de linhas de água e de oficinas de automóveis.

O índice mais baixo de susceptibilidade, para este raio de influência, está limitado às zonas mais afastadas do traçado, sendo de realçar que neste mapa duas das potenciais fontes de contaminação com algum destaque, o Jardim de Arca d'Água (nº 7) e o Jardim da Rua de S. Dinis (nº 11) são considerados dentro da mancha azul, ou seja, susceptibilidade baixa. Este facto pode ser explicado por estas fontes poderem ser tanto pontuais como difusas, e ficar com uma susceptibilidade sub-avaliada devido às limitações do raio de influência.

Analisando o mapa de susceptibilidade à contaminação para raios de 100m e 125m (figura 54), verifica-se que as manchas correspondentes à susceptibilidade elevada e moderada ganharam maior expressão comparativamente com o mapa anterior. A susceptibilidade elevada continua a localizar-se nas imediações do traçado do túnel e apresenta uma mancha mais proeminente com contornos similares ao mapa anterior. O mesmo já não acontece com a susceptibilidade moderada que aparece como uma mancha mais uniforme que já não acompanha fielmente as linhas de água. Por outro lado, para susceptibilidade baixa constatou-se que a sua área diminuiu.

Para um raio de influência de 150m (figura 55) constata-se que a susceptibilidade à contaminação, nomeadamente as classes elevada e moderada

assumem contornos muito semelhantes nas imediações do traçado do túnel. Sendo esta uma fonte linear, o traçado assume, com um raio de 150m, um factor determinante no resultado deste mapa. No entanto, no final do traçado verifica-se que apenas se manifesta a susceptibilidade moderada. Esta constatação pode ser explicada pelo facto de na área em questão existir um significativo número de fontes de contaminação com ponderação 2, designadamente a presença de vários poços e/ou óculos de ventilação. Ainda que nos mapas anteriores este fenómeno também se verifique, neste caso particular aparece bastante evidenciado.

O mapa de susceptibilidade à contaminação para os raios de influência de 200m, 300m, 400m, 500m (figura 55) apresentam diferenças algo significativas comparativamente com os anteriores. A susceptibilidade elevada concentra-se preferencialmente ao longo do traçado do túnel. Poderá supor-se que com o aumento do raio de influência, as fontes difusas assumem um papel mais importante uma vez que, por exemplo, o jardim com lago aparece incluído na classe elevada. As manchas relativas à susceptibilidade moderada e baixa aparentam não sofrer grandes alterações.

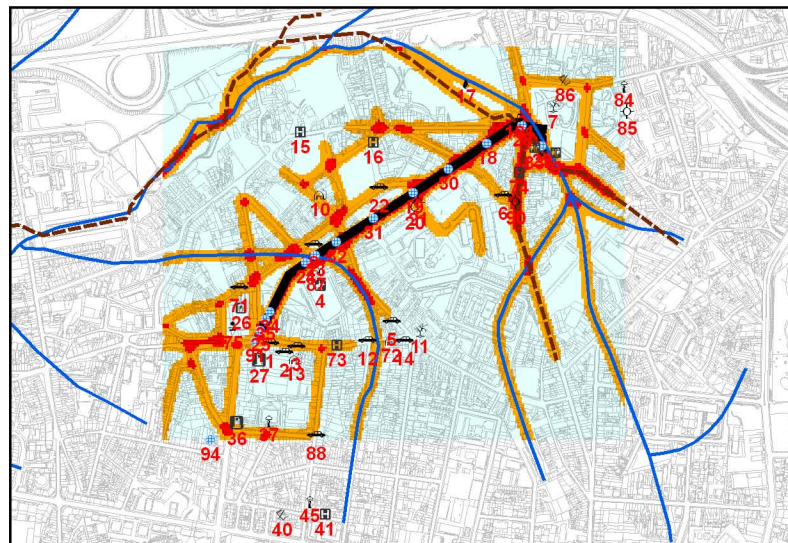
Terminada a análise para os vários raios de influência pode supor-se que para raios de valores inferiores são as fontes pontuais (e.g. óculos e/ou poços de ventilação) que devem assumir uma acção mais preponderante no resultado final do mapeamento. Como consequência, para raios de valores superiores serão as fontes lineares e difusas, os maiores agentes modeladores. É igualmente de referir que com o aumento do raio de influência aumenta, principalmente, a mancha de susceptibilidade moderada. Outra particularidade curiosa é o facto de a presença de duas unidades de saúde (nº 15 e 16) nesta área de estudo, aparecerem sempre na classe de susceptibilidade baixa, ainda que em termos de ponderação lhes tenha sido atribuído o valor 2. Isto é explicado exactamente pelo método de cálculo de densidades do ArcGis. A zona em questão é afectada sobretudo pela malha urbana, à qual foi atribuído um factor de ponderação 1, desta forma a influência do hospital, só por si, não é suficiente para determinar o resultado final do mapa. As áreas de susceptibilidade mais elevada focalizam-se nas imediações do traçado do túnel. Com um grau de susceptibilidade inferior,

mas com alguma relevância, destacam-se as áreas envolvidas às linhas de água. Este aspecto é interessante, uma vez que o traçado das linhas de água coincide com as manchas aluvionares. Estas formações são porosas e têm uma permeabilidade média a elevada, sendo portanto mais susceptíveis à contaminação. As oficinas de automóveis deverão ser, ainda, responsáveis por algumas manchas de maior susceptibilidade, uma vez que têm uma grande representatividade na região em estudo.

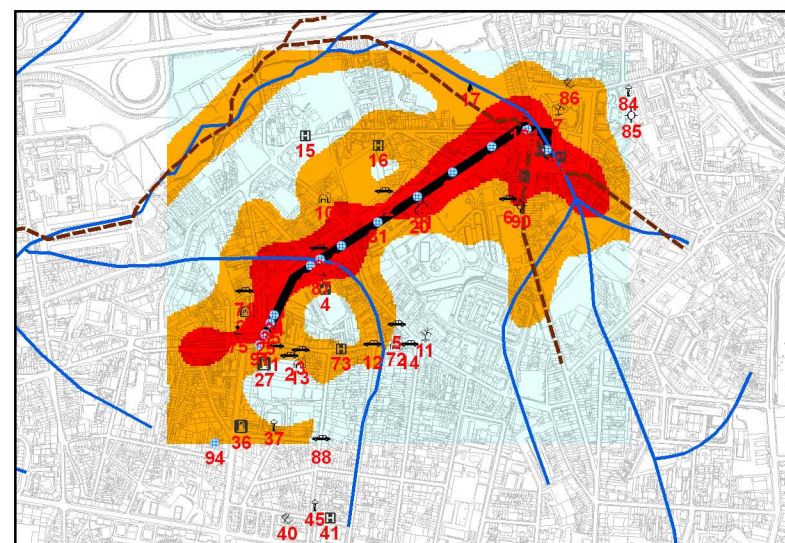
Apesar de as redes de saneamento não terem sido cadastradas (os dados não foram facultados pelas autoridades competentes em tempo útil), a sua presença foi equacionada ao considerar os quarteirões; o seu contributo nas manchas de susceptibilidade poderá ser relevante, se se admitir que alguns desses sistemas poderão apresentar deficientes condições de estanqueidade.

Figura 54. Mapas de susceptibilidade à contaminação de águas subterrâneas para os raios de influência de 25m, 50m, 75m, 100m e 125m.

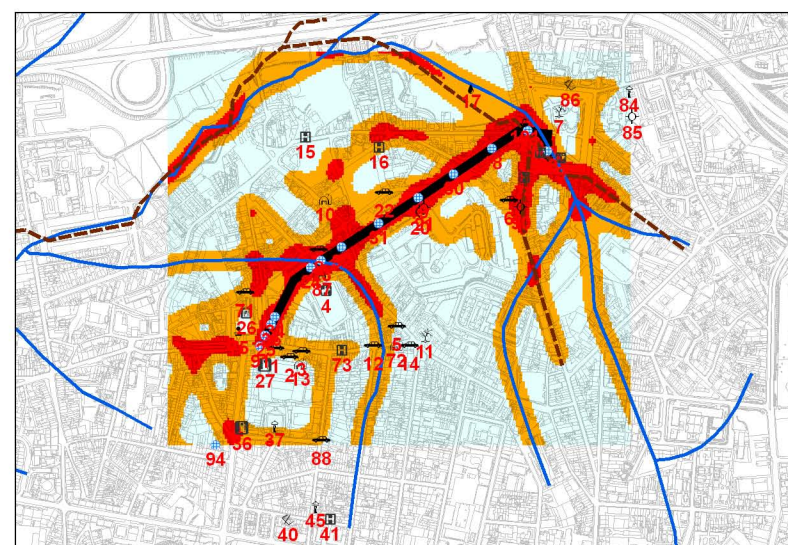
Figura 55. Mapas de susceptibilidade à contaminação de águas subterrâneas para os raios de influência de 150m, 200m, 300m, 400m e 500m.



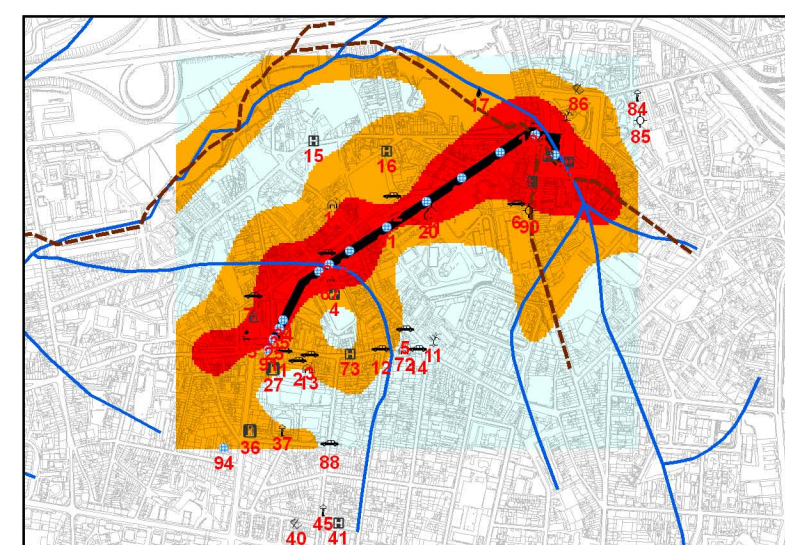
Raio de influência = 25 m



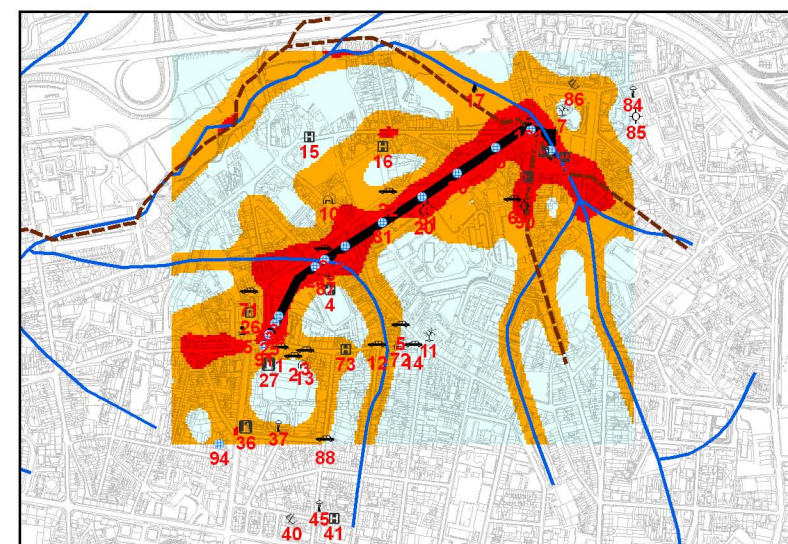
Raio de influência = 100 m



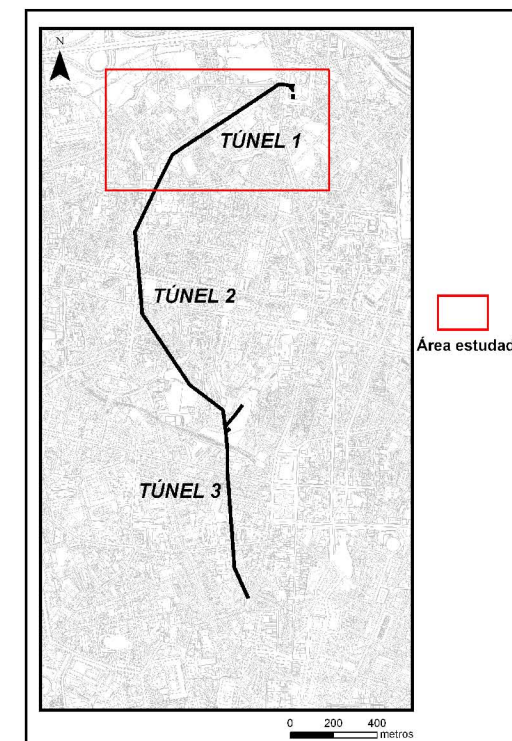
Raio de influência = 50 m



Raio de influência = 125 m



Raio de influência = 75 m



Base planimétrica adaptada da CMP, 2005

LEGENDA

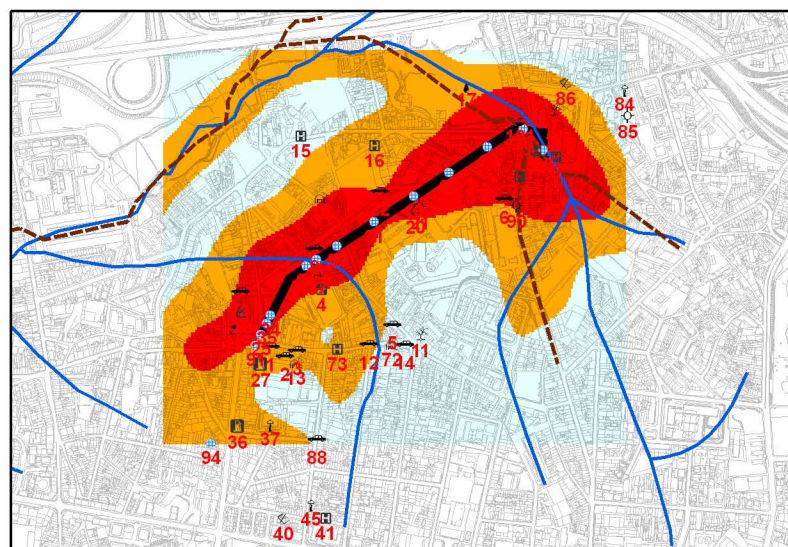
- Traçado Túnel
- - - Linhas de água: trecho canalizado
- Linhas de água: traçado natural

Fontes de contaminação

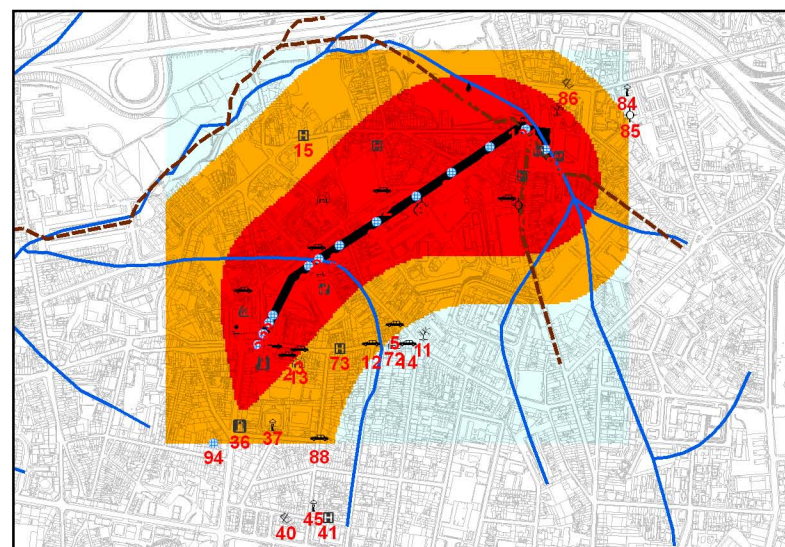
- Oficina de automóveis
- Fontanário ou lavadouro público
- Picadeiro
- Canil
- Estação de serviço
- Edifício de ação social
- Estabelecimento de ensino
- Repartição de limpeza urbana
- Jardim (com ou sem lago)
- Instalações sanitárias
- Indústria
- Unidade de saúde
- Lago artificial
- Acesso ao túnel
- Furo de captação

Susceptibilidade à contaminação das águas subterrâneas

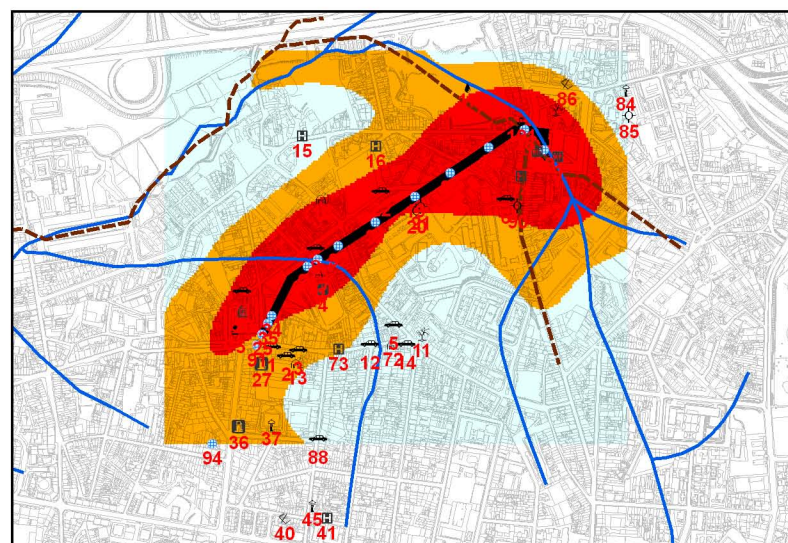
- Elevada
- Moderada
- Baixa



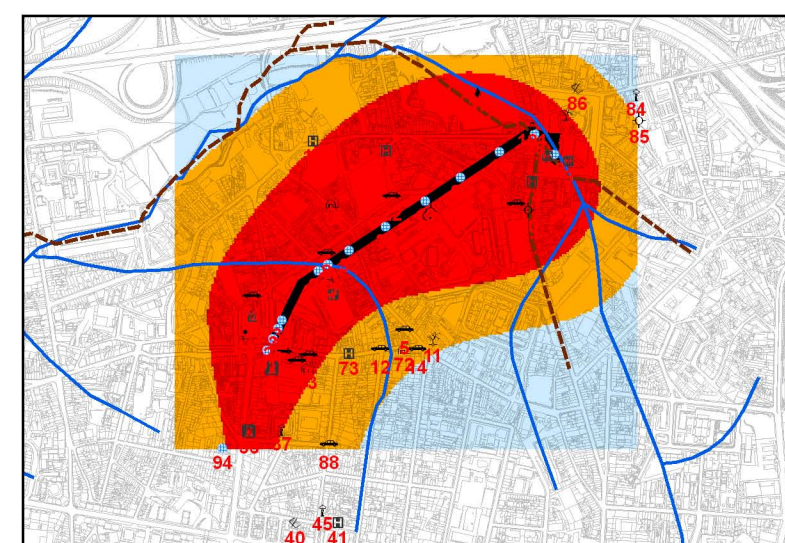
Raio de influência = 150 m



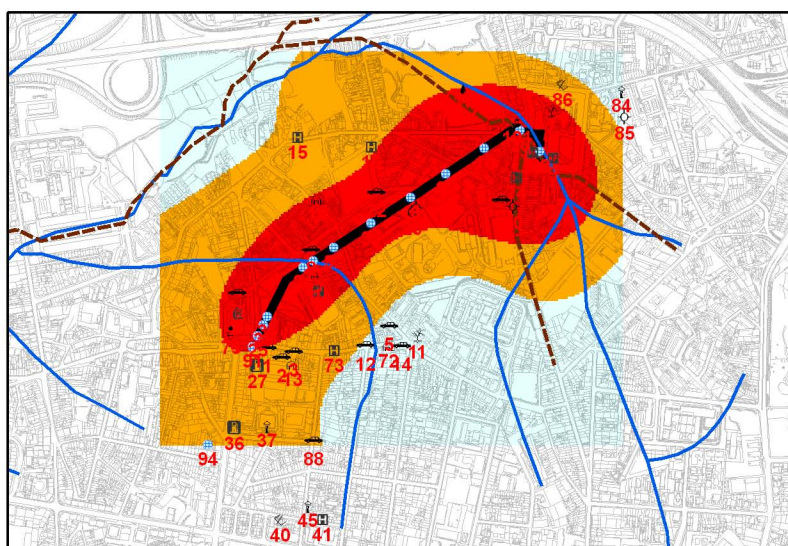
Raio de influência = 400 m



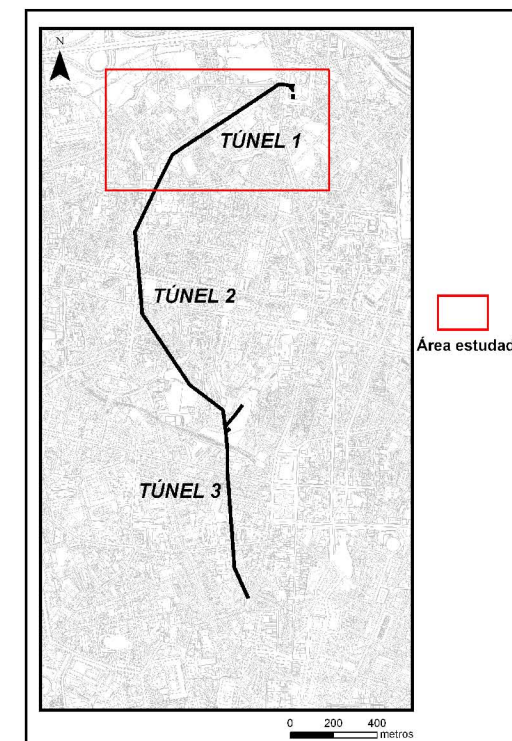
Raio de influência = 200 m



Raio de influência = 500 m



Raio de influência = 300 m



Base planimétrica adaptada da CMP, 2005

LEGENDA

- Traçado Túnel
- Linhas de água: trecho canalizado
- Linhas de água: traçado natural

Fontes de contaminação

- Oficina de automóveis
- Fontanário ou lavadouro público
- Picadeiro
- Canil
- Estação de serviço
- Edifício de acção social
- Estabelecimento de ensino
- Repartição de limpeza urbana
- Jardim (com ou sem lago)
- Instalações sanitárias
- Indústria
- Unidade de saúde
- Lago artificial
- Acesso ao túnel
- Furo de captação

Susceptibilidade à contaminação das águas subterrâneas

- Elevada
- Moderada
- Baixa

5.8. Avaliação ecotoxicológica: Resultados

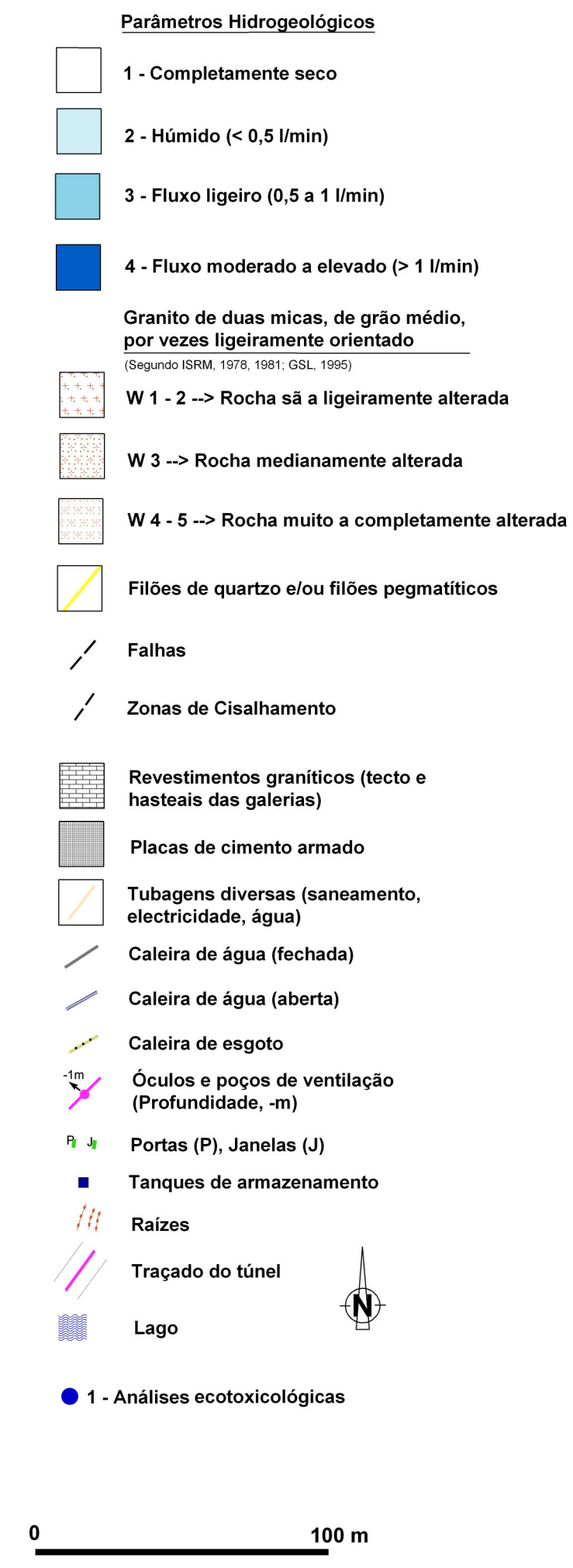
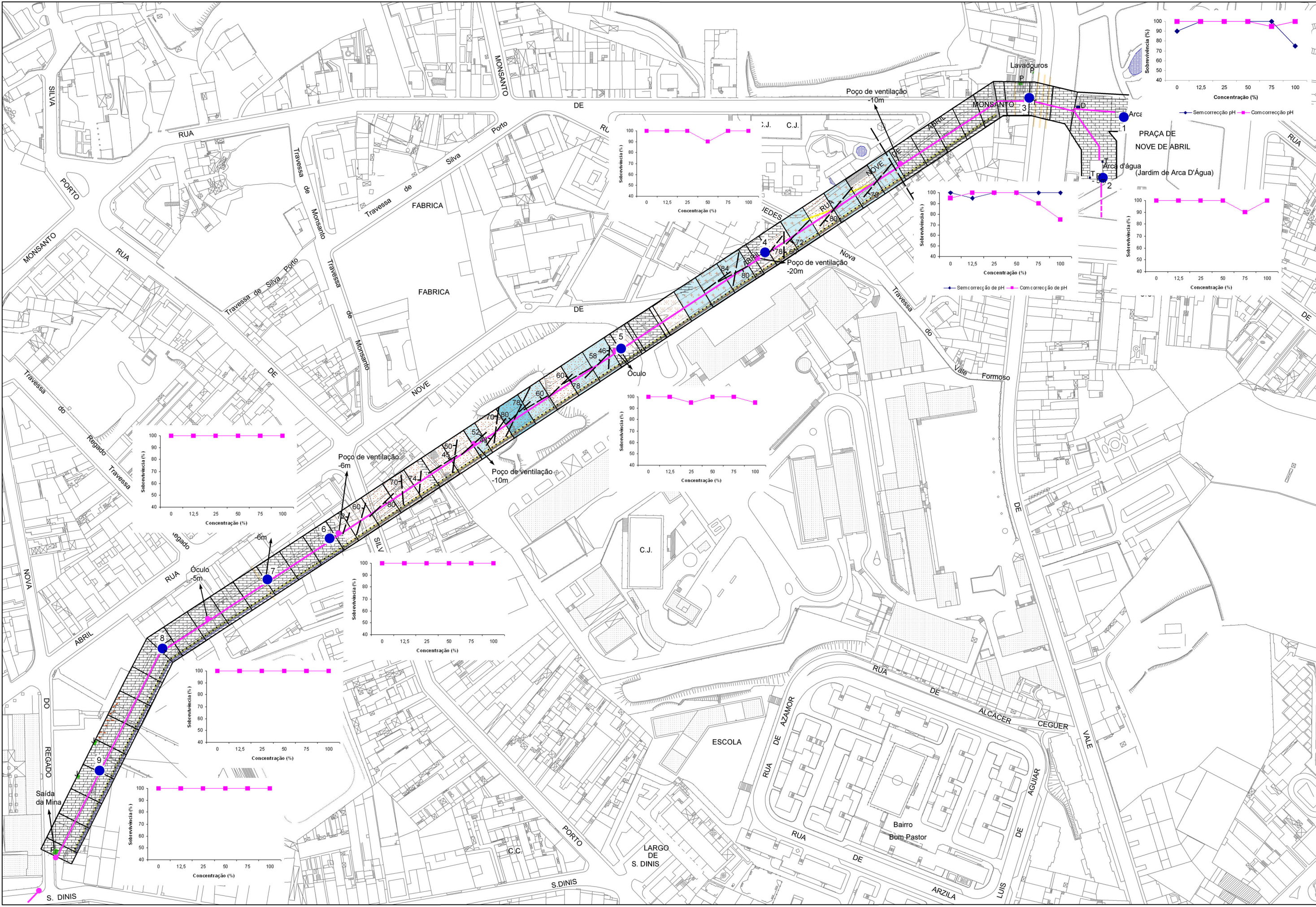
Neste tópico apresentam-se os resultados obtidos nos bioensaios convencionais de toxicidade aguda realizados com *D. magna* para fins de avaliação ecotoxicológica da água subterrânea do sector de Arca d'Água-Rua Nova do Regado.

Bioensaios de toxicidade aguda com *D. magna*

Sobrevivência

As percentagens de sobrevivência por concentração obtidas, ao fim de 48h de exposição, para os nove ensaios de toxicidade aguda realizados são apresentadas na figura 56. A análise desta figura mostra que a mortalidade registada nos recipientes controlo foi ocasional, não ultrapassando os 10%. Foi observada apenas nos ensaios realizados para o ponto 1 sem correcção de pH e para o ponto 3 com correcção de pH, onde atingiu respectivamente os 10 e os 5%. Conforme se pode ainda verificar pela observação da figura 56, a mortalidade observada nas soluções-teste foi, de um modo geral, bastante baixa em todos os pontos de amostragem, não permitindo o cálculo do LC₅₀. Para o ponto 1 foram efectuados dois ensaios, um sem correcção de pH e outro com correcção de pH, uma vez que o valor deste parâmetro medido na água colhida era inferior a 7 (Cooney, 1995). De acordo com os resultados obtidos, a mortalidade mais elevada (25%) foi observada nos pontos 1 e 3, para a concentração de 100%. No ponto 1, a mortalidade observada na concentração de 100%, no teste sem correcção de pH, não foi observada no ensaio com correcção de pH, tendo todos os organismos expostos sobrevivido. Este resultado sugere que a mortalidade verificada no ensaio sem correcção de pH terá sido devida à exposição dos juvenis de dáfnia a uma acidez excessiva. Com efeito, o pH da água amostrada no ponto 1 apresentava um valor de 5.5, abaixo dos limites (7-9) habitualmente indicados para *D. magna* (Cooney, 1995). No ponto 3, ocorreu mortalidade de aproximadamente 25% na concentração de 100% para o teste com correcção de pH. Nos pontos 6 a 9 não ocorreu mortalidade, nem nas réplicas da solução controlo, nem nas réplicas das soluções-teste de diferente concentração (figura 56).

Figura 56. Resultados ecotoxicológicos obtidos nos nove pontos de amostragem.



Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos registados no decorrer das 48 horas dos testes *in vivo* efectuados com *D. magna* são apresentados nos quadros 31 a 41. Os valores apresentados representam as médias e o desvio padrão, para cada uma das concentrações testadas, de valores de pH, temperatura e condutividade obtidos ao longo dos 2 dias de duração dos ensaios (leituras efectuadas às 0, 24 e 48 horas).

Durante o período de duração dos bioensaios, a temperatura manteve-se constante em todos os recipientes de teste, para as diferentes concentrações testadas. Em cada concentração testada, o valor de pH apresentou uma variação inferior a uma unidade. No conjunto de todos os bioensaios efectuados, os valores de condutividade variaram entre aproximadamente 400 a 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Quadro 31. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 1.

Ponto 1	Controlo	12.50%	25%	50%	75%	100%
pH	8,31 \pm 0,09	8,04 \pm 0,35	7,79 \pm 0,54	7,44 \pm 0,65	7,15 \pm 0,71	5,48 \pm 0,80
Temperatura (°C)	19,8 \pm 0,2	19,63 \pm 0,25	19,57 \pm 0,15	19,53 \pm 0,12	19,50 \pm 0,1	19,57 \pm 0,06

Quadro 32. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda com correcção de pH realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 1.

Ponto 1	Controlo	12.50%	25%	50%	75%	100%
pH	8,38 \pm 0,05	8,40 \pm 0,03	8,39 \pm 0,04	8,32 \pm 0,07	8,20 \pm 0,06	8,20 \pm 0,16
Temperatura (°C)	18,27 \pm 0,31	18,07 \pm 0,21	18,20 \pm 0,30	19,37 \pm 0,06	19,23 \pm 0,06	19,20 \pm 0,10

Quadro 33. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 2.

Ponto 2	Controlo	12.50%	25%	50%	75%	100%
pH	8,32±0,06	8,15±0,11	7,92±0,26	7,52±0,44	7,33±0,47	6,81±0,59
Temperatura (°C)	19,87±0,57	19,60±0,23	19,68±0,26	19,60±0,19	19,60±0,2	19,65±0,16
Condutividade (µS/cm)	498±2,04	483±1,88	471±1,11	442±6,26	421±2,22	390±6,20

Quadro 34. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 3.

Ponto 3	Controlo	12.50%	25%	50%	75%	100%
pH	8,33±0,03	7,99±0,34	7,77±0,50	7,46±0,60	7,23±0,67	6,90±0,81
Temperatura (°C)	19,93±0,20	19,87±0,14	19,92±0,12	19,87±0,12	19,85±0,12	19,83±0,10
Condutividade (µS/cm)	503±9,97	506±3,05	515±6,83	523±2,97	531±2,94	537±5,14

Quadro 35. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda com correcção de pH realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 3.

Ponto 3	Controlo	12.50%	25%	50%	75%	100%
pH	8,35±0,04	8,34±0,07	8,30±0,07	8,27±0,11	8,22±0,14	8,24±0,15
Temperatura (°C)	19,83±0,15	19,87±0,16	19,92±0,21	19,80±0,09	19,85±0,10	19,95±0,08
Condutividade (µS/cm)	503±4,25	504±3,94	507±3,78	514±4,76	523±2,64	527±4,98

Quadro 36. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 4.

Ponto 4	Controlo	12.50%	25%	50%	75%	100%
pH	8,36±0,10	8,08±0,19	7,86±0,40	7,58±0,53	7,22±0,65	7,04±0,69
Temperatura (°C)	20,38±0,04	20,20±0,06	20,07±0,08	20,73±0,05	20,70±0,1	20,77±0,05
Condutividade (µS/cm)	501±5,42	495±3,28	488±3,02	474±3,98	463±4,43	448±5,70

Quadro 37. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 5.

Ponto 5	Controlo	12.50%	25%	50%	75%	100%
pH	8,31±0,03	8,15±0,20	7,91±0,37	7,67±0,57	7,40±0,62	7,23±0,71
Temperatura (°C)	19,48±0,59	19,25±0,70	19,27±0,95	18,98±0,97	18,13±0,5	18,13±0,35
Condutividade (µS/cm)	544±1,06	524±2,11	503±3,32	584±0,90	573±0,78	564±0,67

Quadro 38. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 6.

Ponto 6	Controlo	12.50%	25%	50%	75%	100%
pH	8,32±0,03	8,14±0,18	7,96±0,35	7,77±0,42	7,54±0,50	7,20±0,62
Temperatura (°C)	20,17±0,71	20,20±0,88	20,22±0,22	19,82±0,63	19,57±0,29	19,65±0,52
Condutividade (µS/cm)	607±4,32	590±3,60	578±7,05	532±3,06	496±3,86	451±3,10

Quadro 39. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 7.

Ponto 7	Controlo	12.50%	25%	50%	75%	100%
pH	8,37±0,06	8,30±0,09	8,18±0,15	7,94±0,28	7,71±0,37	7,39±0,47
Temperatura (°C)	20,10±0,44	19,93±0,42	20,25±0,60	20,32±0,78	20,18±0,9	20,43±0,83
Condutividade (µS/cm)	609±3,97	589±2,57	571±2,61	532±2,10	495±2,18	451±2,30

Quadro 40. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 8.

Ponto 8	Controlo	12.50%	25%	50%	75%	100%
pH	8,35±0,05	8,30±0,04	8,22±0,05	8,00±0,13	7,81±0,17	7,53±0,19
Temperatura (°C)	20,53±0,38	20,62±0,19	20,68±0,31	20,58±0,31	20,53±0,27	20,60±0,26
Condutividade (µS/cm)	607±2,29	588±1,76	570±1,56	531±1,06	492±1,08	450±1,22

Quadro 41. Valores médios e respectivos desvios padrão obtidos para os parâmetros físico-químicos do ensaio de toxicidade aguda realizado com a água subterrânea recolhida no ponto 9.

Ponto 9	Controlo	12.50%	25%	50%	75%	100%
pH	8,30±0,06	8,27±0,05	8,22±0,04	8,08±0,08	7,85±0,14	7,59±0,14
Temperatura (°C)	20,37±0,30	20,30±0,29	20,20±0,89	20,08±0,85	20,03±0,73	20,10±0,74
Condutividade (µS/cm)	589±2,38	584±3,09	565±2,35	528±3,18	489±3,22	449±3,14

Discussão

Nesta parte do trabalho procedeu-se à realização de bioensaios convencionais de toxicidade aguda com *Daphnia magna* para despiste do potencial ecotoxicológico da água subterrânea do sector Arca d'Água-Rua Nova do Regado. Os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos mantiveram-se constantes e dentro dos valores recomendados pelas normas de padronização propostas pela OCDE (2000) e EPA (1993). Os resultados de sobrevivência não permitiram detectar efeitos tóxicos letais desta água subterrânea para *Daphnia magna*.

Os resultados obtidos estão de acordo com os resultados registados por outros autores. De acordo com os resultados das análises físico-químicas efectuadas, estas são águas particularmente ricas em nitratos (quadro 29). Embora os valores de nitratos detectados na água subterrânea do sector Arca d'Água-Rua Nova do Regado, apresentem valores de concentração superiores aos recomendados para as águas de consumo humano (Mendes & Oliveira, 2004), estes são muito inferiores aos valores de concentração mediana letal (CL50), às 48h, encontrados para microcrustáceos por outros autores. Efectivamente, Scott & Crunkilton (2000), num trabalho de laboratório realizado para avaliação do potencial ecotoxicológico de nitratos, referem ter encontrado valores de CL50 de 374 mg/L e de 462 mg/L de nitratos, respectivamente para *Ceriodaphnia dubia* e *Daphnia magna*. Os mesmos autores referem ainda ter encontrado para a produção de juvenis de *D. magna* valores de concentração de efeito não observado (CENO) de 358 mg/L, e valores de concentração de efeito observado (CEO) de 717 mg/L de nitratos.

Embora não tenham sido detectados efeitos letais, não se pode, contudo, excluir a possibilidade de esta água apresentar contaminação capaz de induzir efeitos tóxicos sub-letais, resultantes da mistura complexa de contaminantes que a compõem. A eventual detecção de efeitos toxicológicos em parâmetros sub-letais poderá ser despistada, sobretudo, através da realização de bioensaiois convencionais de toxicidade crónica ou através da realização de bioensaiois de toxicidade aguda seguidos da determinação de biomarcadores de exposição, como por exemplo a determinação da actividade da enzima acetilcolinesterase. Este é um biomarcador de neurotoxicidade sensível à contaminação por pesticidas organofosforados e carbamatos e por metais (Guilhermino et al. 1996; Guilhermino et al., 1998; Frasco et al., 2005). Nos bioensaiois de toxicidade crónica são avaliados parâmetros de crescimento dos indivíduos expostos, e de reprodução: tempo decorrido até à libertação da primeira ninhada, número de ninhadas por fêmea, espaçamento entre ninhadas, número de juvenis produzidos por fêmea.

Conforme mencionado anteriormente, os bioensaiois de toxicidade aguda são, regra geral, utilizados para avaliar os efeitos biológicos da exposição a concentrações muito elevadas a contaminantes. Atendendo aos resultados obtidos, o potencial tóxico destas águas não parece ser muito elevado, sugerindo que embora a água deste Manancial não seja própria para consumo humano poderá ser adequada para actividades de rega de jardins públicos e lavagem de ruas, que é actualmente feita com água de qualidade superior. Nestas circunstâncias, e a verificarem-se estes resultados, contribuir-se-ia para uma poupança de água potável que actualmente se encontra em escassez, e é fundamental para consumo humano, e conseguir-se-ia também dar um fim a uma água que existe com muita abundância e que presentemente não tem qualquer utilidade para a sociedade.

A confirmação destes resultados está contudo dependente da: i) realização de bioensaiois de toxicidade aguda para rastreio de toxicidade nos outros sectores do Manancial de Paranhos; ii) da monitorização sazonal físico-química e ecotoxicológica que permitirá detectar potenciais variações na toxicidade da água associada quer a alterações climáticas quer a actividades humanas variadas;

iii) da realização de bioensaios de toxicidade crónica para estudo do efeito desta água em parâmetros de crescimento e reprodução.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

6. Conclusões e perspectivas futuras

A caracterização das potenciais fontes de contaminação foi o principal objectivo do presente estudo, bem como o mapeamento dessas fontes de contaminação e, sempre que possível, associar ao(s) tipo(s) potencial(ais) de contaminantes. Assim, para evitar interpretações superficiais dos resultados ora alcançados é importante realçar que foi efectuado um ensaio metodológico exploratório (baseado em diferentes raios de influência das potenciais fontes de contaminação), quer do ponto de vista quantitativo quer do ponto de vista qualitativo, com o objectivo final de constituir uma ferramenta de apoio para futuros estudos hidrogeológicos ambientais. No entanto, esta abordagem metodológica poderá contribuir para explicar alguns aspectos já validados em outros estudos específicos (Afonso et al., 2006a,b,c, 2007), nomeadamente a presença de nitratos e de sulfatos nas águas subterrâneas da área de Paranhos (cidade do Porto).

Desta forma o presente estudo permite esboçar uma série de conclusões, a saber:

- Os resultados das análises físico-químicas das águas do Manancial de Paranhos indicam uma composição rica em nitratos e sulfatos, os quais parecem ser alvo de acumulação de compostos químicos provenientes do escoamento das águas urbanas de superfície derivadas de actividades antropogénicas. Alguns exemplos de actividades localizadas no trajecto do manancial que podem contribuir para este escoamento são o tratamento e rega de jardins públicos, a libertação de compostos para o pavimento decorrentes da passagem de transportes públicos e privados, a exploração hípica e a exploração de gasolinehas.
- A caracterização preliminar das fácies hidroquímicas, estabelecida através do diagrama de Piper, permitiu concluir que a maioria das águas não tem um tipo dominante, quer no domínio dos catiões, quer dos aniões.
- De acordo com a legislação em vigor, nacional e comunitária, todas as águas amostradas são impróprias para consumo humano.

-
- A análise do diagrama de Wilcox permitiu concluir que todas as águas em estudo se situam no campo C_2S_1 , o que significa que se trata de águas que oferecem um baixo perigo de alcalinização e um perigo médio de salinização do solo.
 - estabeleceu-se um inventário exaustivo das principais fontes de contaminação na área envolvente ao túnel de Arca d'Água - Rua Nova do Regado (manancial de Paranhos, Porto) que permitiu a criação de uma série de mapas hidrogeológicos temáticos com diferentes raios de influência entre as potenciais fontes de contaminação. Constatou-se que estes mapas localmente dão uma boa indicação das áreas susceptíveis de maior contaminação das águas subterrâneas;
 - verificou-se que a susceptibilidade à contaminação mais elevada incide nas imediações do traçado do túnel (evidência talvez explicada pelo facto de a própria galeria subterrânea constituir só por si uma influente fonte de transporte de contaminantes), e que o seu desenvolvimento é gradual atendendo ao aumento do raio de influência considerado;
 - Os resultados indicam que as zonas de susceptibilidade elevada estão associadas fundamentalmente a oficinas de automóveis e a poços de ventilação (ou óculos de ventilação).
 - O resultado dos mapas de susceptibilidade está na sua maioria condicionado pelo processo de cálculo de densidades do *ArcGis*, o que explicará o facto de muitas vezes algumas fontes de contaminação não coincidirem a sua ponderação com a mancha onde se encontram.
 - relativamente à presença de nitratos e de sulfatos nas águas subterrâneas da cidade do porto pode-se supor que a sua origem está intimamente associada à infiltração de água das fossas sépticas, às descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais, uma vez que durante o exaustivo trabalho de campo realizado ficou a sensação que a área urbana do Porto ainda não é coberta por uma total e eficaz rede de saneamento. Esta observação é conjectural uma vez que não nos foi possível ter acesso ao cadastro de saneamento da cidade. Outra possibilidade de explicação

seria a existência de más práticas agrícolas (fertilização excessiva) e agropecuária (rejeição de efluentes e/ou resíduos sólidos), o que aparentemente parece dúbio uma vez que se está a falar de uma cidade. Mas a verdade é que ao longo do traçado do túnel confirmou-se a existência de alguma porção de terrenos com carácter agrícola e/ou agropecuário.

- Relativamente aos resultados obtidos no estudo ecotoxicológico, estes não permitiram, nesta abordagem exploratória, detectar efeitos tóxicos letais da água subterrânea amostrada do manancial de Paranhos. Não se pode contudo excluir a possibilidade de contaminação capaz de induzir efeitos tóxicos sub-letais. A eventual detecção de agentes poluentes com efeitos deste nível nos indivíduos poderá ser despistada através da realização ou de ensaios agudos com quantificação da actividade de biomarcadores (Guilhermino et al., 1996), ou de ensaios crónicos (de longa duração) com medição de parâmetros de crescimento (e.g., comprimento da muda de carapaça de *D. magna*) e/ou reprodução (e.g., número de ninhadas por fêmea, número de juvenis por ninhada,...).
- Estes resultados terão impacto na gestão da água urbana, uma vez que a água do manancial de Paranhos poderá ser utilizada para regas, actualmente feitas com água de qualidade superior. Assim, poder-se-á otimizar a utilização da água em função da sua qualidade e do fim em vista.

Desta forma, e atendendo à série de pressupostos aqui enunciados não é descabido afirmar que este trabalho exploratório é um ponto de partida para a realização duma série de estudos complementares, bem como a retoma e o cruzamento dos presentes dados com outros elementos geológicos, hidrogeológicos e geoambientais. Como se referiu anteriormente este trabalho terá de ser encarado, necessariamente, como um contributo preliminar para o estudo das potenciais fontes de contaminação na área envolvente do manancial de Paranhos (Porto).

Tendo sido este projecto executado num período algo restrito, o inventário realizado, apesar de ter sido sistemático e exaustivo, assume um carácter preliminar. Como tal, dever-se-á proceder no futuro a um levantamento mais exaustivo das potenciais fontes contaminantes, ou seja, na perspectiva de identificar qualquer actividade humana que possa causar algum tipo de alteração na qualidade das águas subterrâneas tornando-as impróprias para consumo. Não esquecendo que esta última característica poderá variar no decurso do tempo, mas a susceptibilidade natural é praticamente invariável.

Será igualmente importante proceder a uma campanha hidroquímica através de recolha de amostras de água com o intuito de realizar análises físico-químicas em pontos estratégicos à superfície. Esta amostragem hidroquímica deverá incidir particularmente nas áreas que apresentam um maior índice de susceptibilidade, bem como estabelecer uma malha mais apertada de pontos de água subterrânea do manancial de Paranhos, para contribuir para um controlo físico-químico dos principais contaminantes.

Em suma, através deste projecto pretendeu-se contribuir, tal como preconiza o JOCE - *Jornal Oficial das Comunidades Europeias* (1996), de modo a fornecer informações válidas para que seja possível garantir a protecção e a utilização das águas subterrâneas, mediante uma planificação integrada e uma gestão sustentável. A análise supracitada deverá passar pela continuação do estudo hidrogeológico aplicado, do rastreio hidroquímico e ecotoxicológico da qualidade da água ao longo da restante parte deste manancial, e da eventual correlação dos resultados obtidos com as actividades urbanas de superfície. Por outro lado, a monitorização sazonal físico-química e ecotoxicológica poderá permitir detectar potenciais variações na toxicidade da água associada quer a alterações climáticas quer a actividades humanas variadas.

7. REFERÊNCIAS

7. Referências

- Afonso, M. J. C. (1997). Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto. Departamento de Geologia. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 150 pp. + Vol. Anexos. (Tese de mestrado).
- Afonso, M. J. (2003). Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto (NW de Portugal). Cadernos Lab. Xeol. Laxe, A Coruña, 28: 173-192.
- Afonso, M. J. (in prep.). Hidrogeologia e hidrogeoquímica urbana da área metropolitana do Porto (NW de Portugal): implicações ambientais. Instituto Superior Técnico. Tese de Doutoramento (em preparação).
- Afonso, M. J., Chaminé, H. I., Gomes, A., Teixeira, J., Araújo, M. A., Fonseca, P. E., Carvalho, J. M., Marques, J. M., Marques da Silva, M. A., Rocha, F. T. (2004). Cartografia geológica e geomorfológica estrutural da área metropolitana do Porto: implicações na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Xeográfica, Revista de Xeografia, Território e Medio Ambiente, Santiago de Compostela, 4: 101-115.
- Afonso, M. J., Marques, J. M., Guimarães, L., Costa, I., Teixeira, J., Seabra, C., Rocha, F. T., Guilhermino, L. & Chaminé, H. I. (2006a). Urban hydrogeological mapping of the Porto area (NW Portugal): a geoenvironmental perspective. Abstracts of the International Symposium "Aquifer Systems Management" + CD with Full Texts, Theme 4, 65 - 77.
- Afonso, M. J., Chaminé, H. I., Guimarães, L., Marques, J. M., Carreira, P., Costa, I., Teixeira, J., Martins Carvalho, J., Guilhermino, L., Fonseca, P. E. & Rocha, F. T. (2006b). Hydrochemical, ecotoxicological and isotopical approach from the Paranhos spring galleries catchworks from Porto urban area. In: Proceedings of the International Water Conference, IWC2006, Porto, Centro de Estudos de Águas/IDT-ISEP. pp. 213-222.
- Afonso, M. J., Chaminé, H. I., Gomes, A., Fonseca, P. E., Marques, J. M., Guimarães, L., Guilhermino, L., Teixeira, J., Carvalho, J. M., Marques da Silva, M. & Rocha, F. T. (2006c). Urban hydrogeomorphology and geology of the Porto metropolitan area (NW Portugal): a multidisciplinary approach. In: Pre-Congress Proceedings of the 10th IAEG International Congress - Engineering geology for tomorrow's cities, Nottingham. The Geological Society of London. 1-9 pp. (CD-Rom; IAEG2006 Paper number 92)
- Afonso, M. J., Chaminé, H. I., Carvalho, J. M., Marques, J. M., Gomes, A., Araújo, M. A., Fonseca, P. E., Teixeira, J., Marques da Silva, M. A. & Rocha, F. T. (2007). Urban groundwater resources: a case study of Porto City in north-west Portugal. In: Chapter 20 - Urban Aquifer Management, Ken W. F. Howard (Ed.), Urban Groundwater:

-
- Meeting the Challenge. Selected Papers on Hydrogeology, IAH Special Publications. Taylor & Francis CRC Press, Volume SP8, pp.
- Afonso, M. J., Marques, J. M., Guimarães, L., Costa, I., Teixeira, J., Seabra, C., Rocha, F. T., Guilhermino, L. & Chaminé, H. I. (2007). Urban hydrogeological mapping of the Porto area (NW Portugal): a geoenvironmental perspective. In: Gh. de Marsily & L. Chery (Eds.), Aquifer Systems Management, Selected papers on Hydrogeology, IAH Special Publications. Taylor & Francis CRC Press. (in press)
- Aires-Barros, L. (1991). Alteração e alterabilidade de rochas. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa: 384 pp.
- Almeida, A. (2001). Caracterização geoquímica e geocronológica do granito de duas micas sintectónico do Porto (NW de Portugal). In: Lago M., Arranz E. & Galé C. (eds), Proceedings III^{er} Congreso Ibérico de Geoquímica/VIII Congreso de Geoquímica de España. Instituto Tecnológico de Aragón, Zaragoza, pp. 311-315.
- Amorim, A. A. & Pinto, J. N. (2001). Porto d'agoa. Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento do Porto. SMAS, Porto. 197 pp.
- Anon, (1978). World water balance and water resources of the earth. URSS. Commission for the International Hydrological Decade. Unesco. Paris.
- Araújo, M. A. (1991). Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto. Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto. 534 pp. + Vol. Anexos [87 pp.] (Tese de doutoramento).
- Araújo, M. A., Gomes, A. A., Chaminé, H. I., Fonseca, P. E., Gama Pereira, L. C. & Pinto de Jesus, A. (2003). Geomorfologia e geologia regional do sector de Porto-Espinho (W de Portugal): implicações morfoestruturais na cobertura sedimentar cenozóica. Cadernos Lab. Xeol. Laxe, A Coruña, 28: 79-105.
- Assaad, F. A., LaMoreaux, P. E., Hughes, T. H., Wangfang, Z. & Jordan, H. (2004). Field methods for geologists and hydrogeologists. Springer-Verlag. 420 pp.
- ASTM - American Society for Testing and Materials (1980). Standard practice for conducting acute toxicity tests with fishes, macroinvertebrates and amphibians. Report E - 729-90. American Standards for Testing and Materials. Philadelphia.
- Baird, D. J., Barber, I., Bradley, M., Calow, P., Soares, A. M. V. M. (1989a). The *Daphnia* bioassay: a critique. *Hydrobiologia*, 188/189: 403-406.
- Baird, D. J., Soares, A. M. V. M., Girling, A., Barber, I., Bradley, M., Calow, P. (1989b). The long-term maintenance of *Daphnia magna* Straus for use in ecotoxicity tests: problems and prospects. In: Lokke, H, Tyle, H, Bro-Rasmussen, F (eds) Proceedings First European Conference on Ecotoxicology, Lyngby, pp 144-148.

-
- Baun, A., Jensen, S. D., Bjerg, P. L., Christensen, T. H. & Nyholm, N. (2000). Toxicity of organic chemical pollution in groundwater downgradient of a landfill (Grindsted, Denmark), *Environmental Science & Technology*. 34, 1647-1652.
- Begonha, A. & Braga, M. A. S. (1995). A meteorização do granito do Porto. In: Borges, F. S. & Marques, M. (eds): IV Congresso Nacional de Geologia. Mem. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto, 4: 171-175.
- Begonha, A. J. S. (2001). Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto. Coleção monografias FEUP Edições, Porto, 2: 1-445. (Tese de doutoramento).
- Belitz, K. (2001). Groundwater is alive and well-it just keeps shifting. *Ground Water*, NGWA, 39 (4). pp 481.
- Booth, B. (2000). Using ArcGIS™ 3D Analyst. GIS by ESRI - Environmental Systems Research Institute, Inc. 218 pp.
- Bourbon e Noronha, T. (1885). As aguas do Porto. Dissertação inaugural apresentada à Escola Médico-Cirúrgica do Porto. Typ. Occidental, Porto.
- Bisson, R. A. & Leher, J. H. (2004). Modern Groundwater exploration. Discovering new water resources in consolidated rocks using innovative hydrogeologic concepts, exploration, drilling, aquifer testing and management methods. Wiley Interscience. 309 pp.
- Brassington, R. (1998). Field Hydrogeology, 2ª ed. John Wiley & Sons. 248pp
- Burke, R., Napoleon, E., Ormsby, T., Groess, C. & Feaster, L. (2001). Getting to Know ArcGIS Desktop: The Basics of ArcView, ArcEditor, and ArcInfo Updated for ArcGIS 9. Getting to Know series. ESRI California. 550 pp.
- Cabral, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. Memórias Inst. Geol. Min., Lisboa, 31, pp. 1-265.
- Carrington da Costa, J. & Teixeira, C. (1957). Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000. Notícia explicativa da Folha 9-C (Porto). Serv. Geol. Portg., Lisboa. 38 pp.
- Carvalho, J. M. & Chaminé, H. I. (2004). O papel da fracturação e da alteração profunda em estudos de prospecção hidrogeológica: os casos das regiões de Oliveira de Azeméis e de Fafe (Maciço Ibérico, NW de Portugal). *Geociências, Rev. Univ. Aveiro*, 16: 13-31.
- Carvalho, J. M. (1984). A metodologia de prospecção e pesquisa de águas subterrâneas em formações cristalinas e cristalofilinas Portuguesas. Volume d'Hommage au Géologue G. Zbyszewski, Éditions Recherche sur les Civilisations, Paris : pp. 137-153.

-
- Carvalho, J. M. (1996). Mineral water exploration and exploitation at the Portuguese Hercynian massif. *Environmental Geology*, 27: pp. 252-258.
- Carvalho, J. M. & Amador, F. (2002). Águas subterrâneas: uma abordagem metodológica. *Cadernos Didáticos de Ciências*. Ministério da Educação. Departamento do Ensino Secundário. Lisboa, 2: pp. 21-38.
- Carvalho, J. M., Chaminé, H. I. & Plasencia, N. (2003). Caracterização dos recursos hídricos subterrâneos do maciço cristalino do Norte de Portugal: implicações para o desenvolvimento regional. In: Portugal Ferreira, M. (coord.), *A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos: recursos geológicos e formação*. Volume de Homenagem ao Prof. Doutor Coteló Neiva, Imprensa da Universidade, Série Investigação, Coimbra. 2: pp. 245-264.
- Carvalho, J. M. (2006). Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: linhas metodológicas. Universidade de Aveiro. 292 pp., 1 mapa. (Tese de doutoramento).
- CFCFF - Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (1996). *Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications*. National Research Council, National Academy Press, 568 pp.
- Chaminé, H. I. (2000). Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho – Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas. Universidade do Porto. 497 pp., 2 anexos, 3 mapas. (Tese de doutoramento).
- Chaminé, H. I., Gama Pereira, L. C., Fonseca, P. E., Noronha, F. & Lemos de Sousa, M. J. (2003). Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto–Albergaria-a-Velha–Coimbra–Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cadernos Lab. Xeol. Laxe, A Coruña*, 28: 37-78.
- COBA – Consultores de Engenharia e Ambiente, SA (2003). *Notícia explicativa da Carta Geotécnica do Porto*. 2ª edição, COBA/FCUP/CMP; Câmara Municipal do Porto, 230 pp.
- Conde, L. E. N. (1983). *Mapa de fracturas de Portugal (Memória Descritiva)*. EDP. 118 pp., 4 mapas à escala 1/500000. (Relatório inédito).
- Connon, R., Dewhurst, R. E., Crane, M. & Callaghan, A. (2003) Haem peroxidase activity in *Daphnia magna*: a biomarker for sub-lethal toxicity assessments of kerosene-contaminated groundwater, *Ecotoxicology*. 12, 387-395.
- Cooney, J. D. (1995). Freshwater tests. In: Rand, GM (ed) *Aquatic toxicology: effects, environmental data, and risk assessment* (2nd edition), London, pp 71-102.

-
- Custodio, E. & Llamas, M. R. (2001). Hidrología subterránea. Ed. Omega, 2 tomos, Barcelona, 2359 pp.
- Dewhurst, R. E., Wheeler, J. R., Chummun, K. S., Mather, J. D., Callaghan, A. & Crane, M. (2002). The comparison of rapid bioassays for the assessment of urban groundwater quality, *Chemosphere*. 47, 547-554.
- EPA - Environmental Protection Agency (1977). The Report to Congress: Waste Disposal Practices and their Effects on Water. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Supply and Office of Solid Waste Management, Washington, DC, USA, 512 pp.
- EPA - Environmental Protection Agency (1991). Guide for Conducting Contaminant Source Inventories for Public Drinking Water Supplies: Technical Assistance Document. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, USA, 570/ 9-91-014, 3-22.pp.
- EPA - Environmental Protection Agency (1993). Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms, 4th ed. Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/4-90/027F.
- Fernandes, H. (2005). Caracterização geológica, geotécnica e geomecânica do subsolo granítico da cidade do Porto (manancial de Paranhos): implicações na gestão do geo-espaço urbano. Relatório de Projecto. Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto. 87 pp.
- Ferreira, A. B. (1978). Planaltos e montanhas do Norte da Beira: estudo de geomorfologia. *Memórias Centro Estudos Geográficos*, Lisboa, 4: 1-374.
- Ferreira da Silva, A. J. (1889). Contribuições para a hygiene da cidade do Porto. Typ. António José da Silva Teixeira, Porto.
- Fetter, C. W. (1993). Contaminant hydrogeology. Macmillan Publishing Comp., New York, NY, USA
- Fetter, C. W. (2001). Applied hydrogeology. 4th edition, Prentice-Hall. 598 pp.
- Fontes, A. (1908). Contribuição para a Hygiene do Porto: Analyse sanitaria do seu abastecimento em água potável. I. Estudo dos Mananciais de Paranhos e Salgueiros. Dissertação inaugural apresentada à Escola Médico-Cirúrgica do Porto. Typ. Encyclopedia Portuguesa, Porto.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. & Paris, M. (2002). Groundwater Quality Protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies. The World Bank, Washington, D. C., 103pp.

-
- Frasco, M. F., Fournier, D., Carvalho, F. & Guilhermino, L. (2005). Do metals inhibit acetylcholinesterase (AChE)? Implementation of assay conditions for the use of AChE activity as a biomarker of metal toxicity, *Biomarkers*. 10, 360-75.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. [coords.] (2002). Ingeniería geológica. Prentice Hall, Madrid, 715 pp.
- Guilhermino, L. (1996). Modelos e sistemas de avaliação da toxicidade de substâncias químicas. Tese de Doutoramento. ICBAS, 197 pp.
- Guilhermino, L., Barros, P., Silva, M. C. & Soares, A. M. V. M. (1998). Should the use of inhibition of cholinesterase as a specific biomarker for organophosphate and carbamate pesticides be questioned?, *Biomarkers*. 3, 157-163.
- Guilhermino, L., Lopes, M. C., Carvalho, A. P. & Soares, A. M. V. M. (1996). Inhibition of acetylcholinesterase activity as effect criterion in acute tests with juvenile *Daphnia magna*, *Chemosphere*. 32, 727-738.
- Guimarães, L., Afonso, M. J., Costa, I., Chaminé, H. I. & Guilhermino, L. (2006). Ecotoxicological and hydrogeological assessment of groundwater from Porto spring galleries catchworks. Livro de Resumos do I Encontro Nacional de Pós-Graduação em Ciências Biológicas & V Simpósio de Pós-Graduação do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro, Aveiro, pp. 48.
- Haslett, J. R. (1990). Geographic information systems: a new approach to habitat definition and the study of distributions. *TREE*, 5, 214-218.
- Helma, C., Eckl, P., Gottmann, E., Kassie, F., Rödinger, W., Steinkellner, H., Windpassinger, C., Schulte-Hermann, R. & Knasmüller, S. (1998). Genotoxic and Ecotoxic Effects of Groundwaters and Their Relation to Routinely Measured Chemical Parameters, *Environmental Science & Technology*. 32, 1799-1805.
- Ingebritsen, S. E. & Sanford, W. E. (1998). Groundwater in geologic processes. Cambridge University Press, 341 pp.
- IGM - Instituto Geológico e Mineiro (2001). Água Subterrânea: Conhecer para Preservar o Futuro. Instituto Geológico e Mineiro, Versão Online no site do INETI:
- INE - Instituto Nacional de Estatística (2001) - <http://www.ine.pt/>
- ISRM - International Society of Rock Mechanics (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geomechanics*. 15 (6): 319-368.
- ISRM- International Society of Rock Mechanics (1981). Basic geotechnical description of rock masses. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18: 85-110.

-
- Jackson, R. E. (1980). *Aquifer Contamination and Protection*. Unesco, Paris, France, 440 pp.
- JOCE, (1996). Proposta de Decisão do Parlamento Europeu e do Conselho relativa a um Programa de Acção para a Protecção e a Gestão Integrada das Águas Subterrâneas, 96/C355/01, Jornal Oficial das Comunidades Europeias n.º 355, 19pp.
- Klaassen, C. D., Watkins III, J. B. (2001). Princípios gerais de toxicologia. In: *Toxicologia: a ciência básica dos tóxicos de Casarett & Doull*'S. 5ª edição. McGraw-Hill, pp:11-31.
- Kovalevsky, V. S., Kruseman, G. P. & Rushton, K. R. (2004). *An international guide for hydrogeological investigations*. IHP-VI, Series on groundwater no.3. UNESCO, 430pp.
- Lafuente, J. G. C. (1969). *Química del agua*. Ed. Blume. 355 pp.
- Lencastre, A. & Franco, F. M. (1992). *Lições de hidrologia*. 3ª edição. Universidade Nova de Lisboa. 453 pp.
- Martí, M. A. C. (2002). *Princípios de ecotoxicología*. McGraw-Hill, Madrid. 314 pp.
- Mason, C. (2002). *Biology of freshwater pollution*. 4th edition. Pearson Prentice Hall. 387 pp.
- Mendes, B. & Oliveira, J. F. S. (2004). *Qualidade da água para consumo humano*. Ed. Lidel. 626 pp.
- Monteiro, A. (1997). *O clima urbano do Porto: contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*. Fundação Calouste Gulbenkian/Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica. 486 pp.
- Nace, R. L. (1967). *Are we running out of water?* U. S. Geological Survey. 7 pp.
- Newman, M. C., Unger, M. A. (2002). *Fundamentals of ecotoxicology*. 2nd edition. Lewis Publishers, New York, 458 pp.
- OCDE, (2000). *OCDE Guidelines for testing of chemicals – Revised protocol for updating Guideline 202 – Daphnia sp. Acute Immobilisation Test*.
- Oliveira, J. T., Pereira, E., Ramalho, M., Antunes, M. T. & Monteiro, J. H. [coords.] (1992). *Carta Geológica de Portugal, escala 1/500000, 5ª edição*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. (2 folhas).
- OTA, (1984). *Protecting the Nation's Groundwater from contamination*. OTA-0-233, Office of Technology Assessment, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Pedrosa, M. Y. & Pereira, A. P. (1998). *Carta de Fontes de Contaminação, Escala 1:10000 – Folha do Alto Minho*. Actas do V Congresso Nacional de Geologia, tomo 84 (2) Instituto Geol. e Mineiro. Lisboa, pp. E65
- Pedrosa, M. Y. (1999). *Notícia explicativa da Carta Hidrogeológica de Portugal, escala 1/200000. Folha 1*. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

-
- Pedrosa, M. Y., Brites, J. A., Pereira, A. P. (2000). Síntese de informação contida na Carta das Fontes e do Risco de Contaminação, Alto Minho, Escala 1:100.00. Jornadas Hispano-Lusas sobre as Águas Subterrâneas no Noroeste da Península Ibérica, Corunha. Inst. Geol. E Mineiro de Espanha. Madrid, 331-334.pp.
- Peters, R. H. (1987). Daphnia culture. *In*: Peters, RH, De Bernardi, R (eds) Daphnia. Memorie Dell'istituto Italiano di Idrobiologia Dott. Marco de Marchi 45, pp 483-495.
- Pinto de Jesus, A. (2001). Génese e evolução da Bacia Carbonífera do Douro (Estefaniano C inferior, NW de Portugal): um modelo. Universidade do Porto. Vol. Texto: 272 pp., Vol. Atlas: 71 pp. (Tese de doutoramento).
- Plummer, C. C. & MCGeary, D. (1996). Physical Geology. Seventh Edition. WCM – Wm. C. Brown Publishers. 539 pp.
- Ramsay, J. G. & Huber, M. I. (1987). The techniques of modern structural geology. Vol 2: Folds and Fractures. Academic Press Limited, London: 700 pp.
- Ramsay, J. R. & Huber, M. I. (1983). The techniques of modern structural geology. Vol 1: Strain analysis. Academic Press Limited. London: 307 pp.
- Rand, G. M., Wells, P. G., McCarty, L. S. (1995). Introduction to Aquatic Toxicology. *In*: Rand, GM (ed) Aquatic toxicology: effects, environmental data, and risk assessment (2nd edition), London, pp 3-66.
- Ribeiro, A., Quesada, C., Dallmeyer, R. D. (1990). Geodynamic evolution of the Iberian Massif. *In*: Dallmeyer R. D. and Martínez-García E. (eds.) Pre-Mesozoic Geology of Iberia, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. pp. 397-410.
- Sanders, L. (1988). A manual of field hydrogeology. Prentice Hall. 381 pp.
- Schuurman, N. (2001). GIS: a short introduction. Blackwell Publishing. 169 pp.
- Scott, G. & Crunkilton, R. L. (2000). Acute and chronic toxicity of nitrate to fathead minnows (*Pimephales promelas*), *Ceriodaphnia dubia*, and *Daphnia magna*, *Environmental Toxicology and Chemistry*. 19, 2918-2922.
- Seabra, C. (2006). Potenciais fontes de contaminação da água subterrânea na área envolvente ao manancial de Paranhos (cidade do Porto): uma abordagem metodológica. Relatório de Projecto. Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto. 152 pp.
- SMAS – Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento do Porto, (1961). Mananciais de Paranhos e Salgueiros: situação e distribuição em relação à actual urbanização. SMAS, Porto. 28 pp.

-
- Soares, A. M. V. M. & Calow, P. (1993). Seeking standardization in Ecotoxicology. *In*: Soares, A. M. V. M., Calow, P. (Eds.). Progress in standardization of aquatic toxicology tests. Lewis Publishers, Boca Raton, pp 1.
- Stiff, H. A. (1951). The Interpretation of Chemical Water Analysis by Means of Patterns: Journal of Petroleum Technology, v. 3, no. 10, p. 15-17.
- Strahler, A. N. (1979). Geografía física. 4ª edición, Ediciones Omega, Barcelona, 767 pp.
- Struckmeier, W. F., Margat, J. (1995) Hydrogeological maps: a guide and standard legend. IAH, Intern. Contr. to Hydrogeology, Vol. 17. Heise, Hannover.
- UNESCO, (1983). International legend for hydrogeological maps. Revised Edition, Unesco, Paris.
- UNESCO, (1992). International Glossary of Hydrogeology, 2nd ed., Unesco, Paris, 413 pp.
- Vieira, N. (2005). Hidrogeologia, hidroquímica e hidrogeotecnia do manancial de Paranhos: um caso de estudo dos subterrâneos da cidade do Porto. Relatório de Projecto. Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto. 108 pp.
- Velhas, E. (1991). A bacia hidrográfica do Rio Leça: estudo hidroclimatológico. Geografia, Rev. Fac. Letras, Porto, 7 (1ª série): 139-251.
- Vrba, J. & Zaporozec, A. (1994). Guidebook on mapping groundwater vulnerability. Verlag Heinz Heise, Hannover, Germany, International Contributions to Hydrogeology, Vol. 16. Heise, Hannover.
- Walker, C. H., Hopkin, S. P., Sibly, R. M. & Peakall, D. B. (2001). Principles of ecotoxicology. 2nd edition. Taylor & Francis, London.
- Walker, P. A. (1990). Modelling wildlife distributions using a geographic information system: Kangaroos in relation to climate. Journal of Biogeography, 17, 279-289.
- WHO, (1993). Water Operation Guide. Third Edition, World Health Organization, Geneva
- Zaporozec, A. (ed.) (2004). Groundwater contamination inventory: a methodological guide with a model legend for groundwater contamination inventory and risk maps. IHP-VI, series on groundwater, 2. UNESCO, Paris, France
- Zaporozec, A. & Miller, J. C. (2000). Groundwater Pollution. UNESCO, Paris, France, 24 pp.

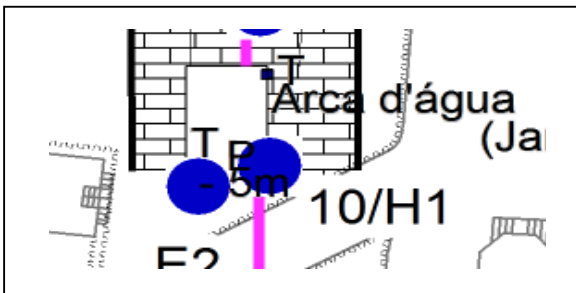
ANEXOS

***ANEXOS I.* FICHA DE INVENTÁRIO HIDROGEOLÓGICO**

FICHA DE INVENTÁRIO

Nascente

Nº inventário: 10



Planta de Localização



Fotografia

Mapa topográfico Planta da Cidade do Porto (CMP) escala: 1/1.000

Mapa geológico/geotécnico Porto escala(s): 1/50.000 (Folha 9-C; SGP) / 1/10.000 (CMP)

Localização relativamente ao ponto de origem (m): 0

Profundidade (m): 5

Condições de acesso: Razoável

Breve descrição:

Ponto de descarga simples ☐ Grupo de nascentes ☒
nascente permanente ☒ nascente temporária ☐

Área de descarga: 5 x 10 m²

A água flui através de:

Tecto <input type="checkbox"/>	Hasteal direito <input type="checkbox"/>	Hasteal esquerdo <input type="checkbox"/>
Rocha <input checked="" type="checkbox"/>	Alvenaria <input type="checkbox"/>	Outra <input type="checkbox"/> Qual? <u>Arca d'Água</u>
Descont. vertical <input type="checkbox"/>	Descont. horizontal <input checked="" type="checkbox"/>	Outra <input type="checkbox"/> Qual? _____

Aspecto superfície rocha/alvenaria: esbranquiçada ☐ avermelhada ☐ acastanhada ☐

Características geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas

Unidade geológica regional Granito de grão médio de duas micas por vezes ligeiramente orientado (fácies do Granito do Porto)

Unidade geotécnica Maciço rochoso granítico de fraca a excelente qualidade (G9) (CMP, 2003)

Unidade hidrogeológica local ou regional Uh2 (CMP, 2003)

Litologia Granito

Grau de alteração (W) W2

Qualidade da água e fluxo

Dia 10 / 04 / 06 Hora 10 : 15 min

Cheiro Não cor Não turbidez Não
Outras observações: plantas ☐ animais ☐ incrustações ☐

Fluxo ---- l/s (medido com ----)

Temperatura (°C) água 15,7 Temp. (°C) ar 23 pH 5,84 Condutividade eléctrica 480 µS/cm

Amostra para análise laboratorial nº H1 data colheita 10/ 04/ 06

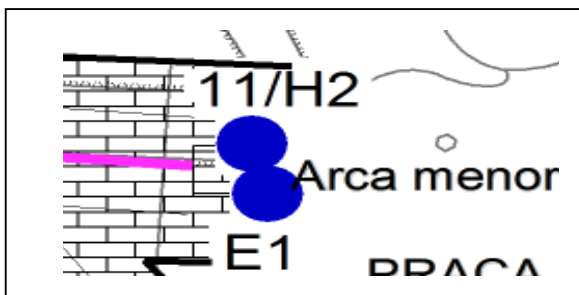
Elaborado por MJA/NV/IC/HIC

Data 10/ 04/ 06

FICHA DE INVENTÁRIO

Nascente

Nº inventário: 11



Planta de Localização



Fotografia

Mapa topográfico Planta da Cidade do Porto (CMP) escala: 1/1.000

Mapa geológico/geotécnico Porto escala(s): 1/50.000 (Folha 9-C; SGP) / 1/10.000 (CMP)

Localização relativamente ao ponto de origem (m): 0

Profundidade (m): 5

Condições de acesso: Razoável

Breve descrição:

Ponto de descarga simples ☐ Grupo de nascentes ☒ Área de descarga: 5 x 6 m²
Nascente permanente ☒ Nascente temporária ☐

A água flui através de:

Tecto ☐ Hasteal direito ☐ Hasteal esquerdo ☐
Rocha ☒ Alvenaria ☐ Outra ☐ Qual? Arca menor
Descont. vertical ☐ Descont. horizontal ☒ Outra ☐ Qual? _____

Aspecto superfície rocha/alvenaria: esbranquiçada ☐ avermelhada ☐ acastanhada ☐

Características geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas

Unidade geológica regional Granito de grão médio de duas micas por vezes ligeiramente orientado (fácies do Granito do Porto)

Unidade geotécnica Maciço rochoso granítico de fraca a excelente qualidade (G9) (CMP, 2003)

Unidade hidrogeológica local ou regional Uh2 (CMP, 2003)

Litologia Granito

Grau de alteração (W) W2

Qualidade da água e fluxo

Dia 10 / 04 / 06 Hora 10 : 25 min

Cheiro Não cor Não turbidez Não
Outras observações: plantas ☐ animais ☐ incrustações ☐

Fluxo ---- l/s (medido com -----)

Temperatura (°C) água 16 Temp. (°C) ar 23 pH 5,3 Condutividade eléctrica 500 µS/cm

Amostra para análise laboratorial nº H2 data colheita 10/ 04/ 06

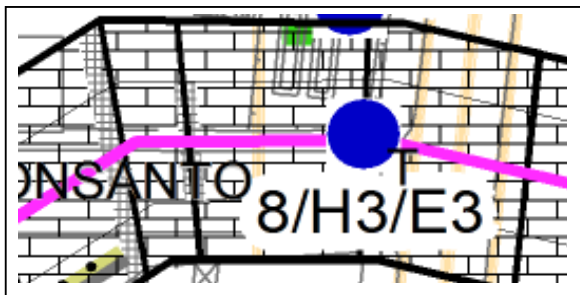
Elaborado por MJA/NV/IC/HIC

Data 10/ 04/ 06

FICHA DE INVENTÁRIO

Nascente

Nº inventário: 8



Planta de Localização



Fotografia

Mapa topográfico Planta da Cidade do Porto (CMP) escala: 1/1.000

Mapa geológico/geotécnico Porto escala(s): 1/50.000 (Folha 9-C; SGP) / 1/10.000 (CMP)

Localização relativamente ao ponto de origem (m): 55

Profundidade (m): 2

Condições de acesso: Razoável

Breve descrição:

Ponto de descarga simples ☐ Grupo de nascentes ☐

Área de descarga: x m

Nascente permanente ☐ Nascente temporária ☐

A água flui através de:

Tecto ☐

Hasteal direito ☐

Hasteal esquerdo ☒

Rocha ☐

Alvenaria ☐

Outra ☒

Qual?

Tanque

Descont. vertical ☐

Descont. horizontal ☐

Outra ☐

Qual?

Aspecto superfície rocha/alvenaria: esbranquiçada ☐ avermelhada ☐ acastanhada ☐

Características geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas

Unidade geológica regional Granito de grão médio de duas micas por vezes ligeiramente orientado (fácies do Granito do Porto)

Unidade geotécnica Maciço rochoso granítico de fraca a excelente qualidade (G9) (CMP, 2003)

Unidade hidrogeológica local ou regional Uh2 (CMP, 2003)

Litologia Granito

Grau de alteração (W) ---

Qualidade da água e fluxo

Dia 10 / 04 / 06

Hora 10 : 40 min

Cheiro Não

cor Não

turbidez Não

Outras observações: plantas ☐

animais ☐

incrustações ☐

Fluxo ---- l/s (medido com ----)

Temperatura (°C) água 16,1 Temp. (°C) ar --- pH 5,7 Condutividade eléctrica 460 µS/cm

Amostra para análise laboratorial nº H3

data colheita 10 / 04 / 06

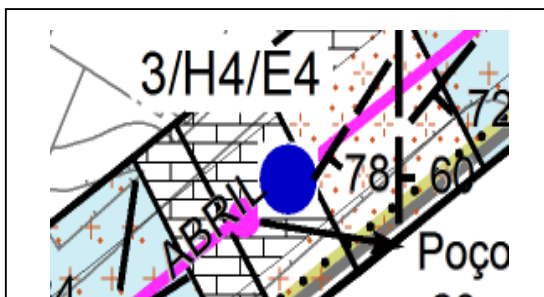
Elaborado por MJA/NV/IVC/HIC

Data 10 / 04 / 06

FICHA DE INVENTÁRIO

Nascente

Nº inventário: 3



Planta de Localização



Fotografia

Mapa topográfico Planta da Cidade do Porto (CMP) escala: 1/1.000

Mapa geológico/geotécnico Porto escala(s): 1/50.000 (Folha 9-C; SGP) / 1/10.000 (CMP)

Localização relativamente ao ponto de origem (m): 232

Profundidade (m): 20

Condições de acesso: Razoável

Breve descrição:

Ponto de descarga simples ☐ Grupo de nascentes ☐ Área de descarga: ____x____ m
nascente permanente ☐ nascente temporária ☐

A água flui através de:

Tecto ☐ Hasteal direito ☐ Hasteal esquerdo ☒
Rocha ☐ Alvenaria ☐ Outra ☒ Qual? Caleira fechada c/ abertura
Descont. vertical ☐ Descont. horizontal ☐ Outra ☐ Qual? _____

Aspecto superfície rocha/alvenaria: esbranquiçada ☐ avermelhada ☐ acastanhada ☐

Características geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas:

Unidade geológica regional Granito de grão médio de duas micas por vezes ligeiramente orientado (fácies do Granito do Porto)

Unidade geotécnica Maciço rochoso granítico de fraca a excelente qualidade (G9) (CMP, 2003)

Unidade hidrogeológica local ou regional Uh2 (CMP, 2003)

Litologia Granito

Grau de alteração (W) ---

Qualidade da água e fluxo

Dia 10 / 04 / 06 Hora 10 : 55 min

Cheiro Não cor Não turbidez Não
Outras observações: plantas ☐ animais ☐ incrustações ☐

Fluxol/s ---- (medido com ----)

Temperatura (°C) água 15,9 Temp. (°C) ar --- pH 5,93 Condutividade eléctrica 435 µS/cm

Amostra para análise laboratorial nº H4 data colheita 10 / 04 / 06

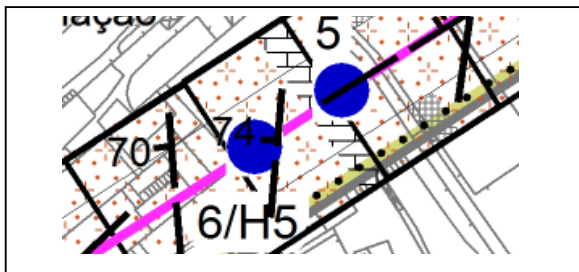
Elaborado por MJA / NV/ IC / HIC

Data 10/ 04/ 06

FICHA DE INVENTÁRIO

Nascente

Nº inventário: 6



Planta de Localização



Fotografia

Mapa topográfico Planta da Cidade do Porto (CMP) escala: 1/1.000

Mapa geológico/geotécnico Porto escala(s): 1/50.000 (Folha 9-C; SGP) / 1/10.000 (CMP)

Localização relativamente ao ponto de origem (m): 468

Profundidade (m): 5 a 8

Condições de acesso: Razoável

Breve descrição:

Ponto de descarga simples ☐ Grupo de nascentes ☐ Área de descarga: ____x____ m
Nascente permanente ☐ Nascente temporária ☐

A água flui através de:

Tecto ☐ Hasteal direito ☐ Hasteal esquerdo ☒
Rocha ☐ Alvenaria ☐ Outra ☒ Qual? Caleira aberta
Descont. vertical ☐ Descont. horizontal ☐ Outra ☐ Qual? _____

Aspecto superfície rocha/alvenaria: esbranquiçada ☐ avermelhada ☐ acastanhada ☐

Características geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas

Unidade geológica regional Granito de grão médio de duas micas por vezes ligeiramente orientado (fácies do Granito do Porto)

Unidade geotécnica Maciço rochoso granítico de fraca a excelente qualidade (G9) (CMP, 2003)

Unidade hidrogeológica local ou regional Uh2 (CMP, 2003)

Litologia Granito
Grau de alteração (W) ---

Qualidade da água e fluxo

Dia 10 / 04 / 06 Hora 11 : 15 min

Cheiro Não cor Não turbidez Não
Outras observações: plantas ☐ animais ☐ incrustações ☐

Fluxo ---- l/s (medido com ----)

Temperatura (°C) água 16 Temp. (°C) ar --- pH 6,03 Condutividade eléctrica 418 µS/cm

Amostra para análise laboratorial nº H5 data colheita 10/ 04/ 06

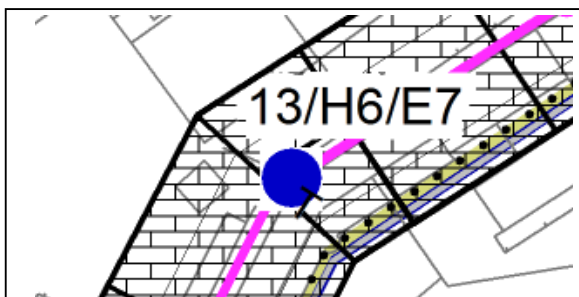
Elaborado por MJA/NV/IC/HIC

Data 10/ 04/ 06

FICHA DE INVENTÁRIO

Nascente

Nº inventário: 13



Planta de Localização



Fotografia

Mapa topográfico Planta da Cidade do Porto (CMP) escala: 1/1.000

Mapa geológico/geotécnico Porto escala(s): 1/50.000 (Folha 9-C; SGP) / 1/10.000 (CMP)

Localização relativamente ao ponto de origem (m): 635

Profundidade (m): 3

Condições de acesso: Razoável

Breve descrição:

Ponto de descarga simples ☐ Grupo de nascentes ☐
Nascente permanente ☐ Nascente temporária ☐

Área de descarga: x m

A água flui através de:

Tecto ☐ Hasteal direito ☐ Hasteal esquerdo ☒
Rocha ☐ Alvenaria ☐ Outra ☒ Qual? Tanque
Descont. vertical ☐ Descont. horizontal ☐ Outra ☐ Qual?

Aspecto superfície rocha/alvenaria: esbranquiçada ☐ avermelhada ☐ acastanhada ☐

Características geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas

Unidade geológica regional Granito de grão médio de duas micas por vezes ligeiramente orientado (fácies do Granito do Porto)

Unidade geotécnica Maciço rochoso granítico de fraca a excelente qualidade (G9) (CMP, 2003)

Unidade hidrogeológica local ou regional Uh2 (CMP, 2003)

Litologia Granito

Grau de alteração (W) ---

Qualidade da água e fluxo

Dia 10 / 04 / 06 Hora 11 : 30 min

Cheiro Não cor Não turbidez Não
Outras observações: plantas ☐ animais ☐ incrustações ☐

Fluxo ---- l/s (medido com ----)

Temperatura (°C) água 16 Temp. (°C) ar 23 pH 6,36 Condutividade eléctrica 437 µS/cm

Amostra para análise laboratorial nº H6 data colheita 10/ 04/ 06

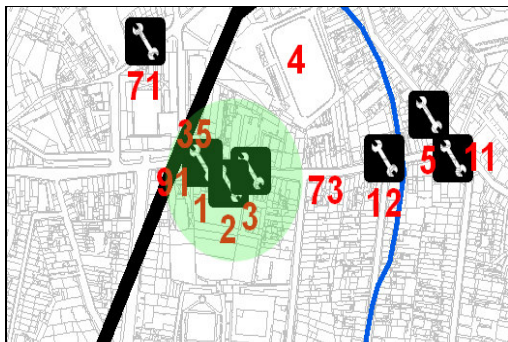
Elaborado por MJA/NV/IC/HIC

Data 10/ 04/ 06

***ANEXOS II.* FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO**

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 1 Designação: Oficina de automóveis Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40804,66 P 166605,28 Cota (m): 100,86

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua de S. Dinis, 314

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos compactos a maciço de muito fraca qualidade

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 10

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido, gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 2 Designação: Oficina de automóveis Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40770,66 P 166599,99 Cota (m): 102,38

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua de S. Dinis, 350/356

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos compactos a maciço de muito fraca qualidade

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 10

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido, gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

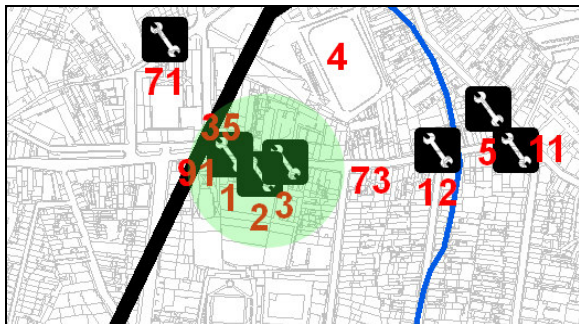
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 3 Designação: Oficina de automóveis Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40753,99 P 166597,44 Cota (m): 103,07

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua de S. Dinis, 370

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos compactos a maciço de muito fraca qualidade

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 10

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido, gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

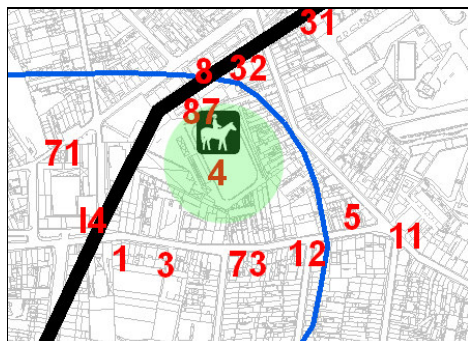
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 4 Designação: Picadeiro Tipologia: Pontual e/ou difusa



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40694,01 P 166728,56 Cota (m): 102,03

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: Sport Club do Porto Endereço: Rua de Silva Porto, 201

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos aluvionares e coluvionares

Litologia / grau de alteração: aluviões

Unidade hidrogeológica: Uh 1 – Formação superficial permeável porosa

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 31

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, sulfatos, microorganismos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

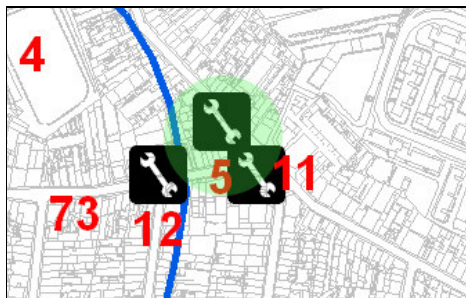
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 5 Designação: Oficina de automóveis Tipologia :Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40539,35 P 166652,93 Cota (m): 110,33

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua de Silva Porto

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos aluvionares e coluvionares

Litologia / grau de alteração: aluviões

Unidade hidrogeológica: Uh 1 – Formação superficial permeável porosa

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 10

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido, gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

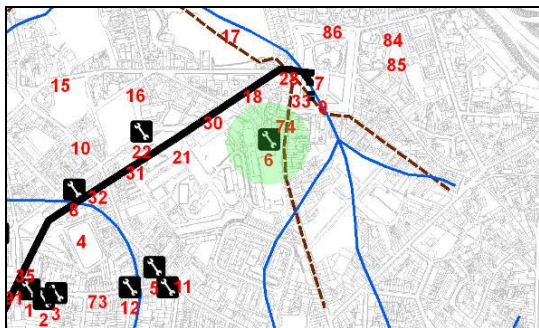
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 6 Designação: Oficina de automóveis Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40295,86 P 166927,60 Cota (m): 120,00

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Travessa do Vale Formoso

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) _____

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido, gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

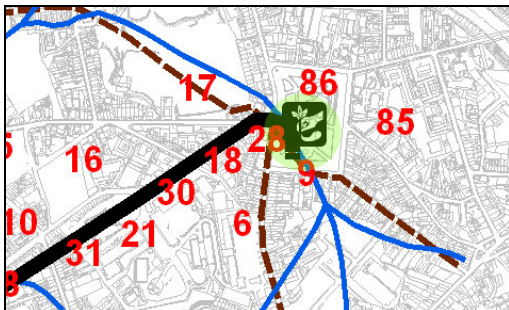
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

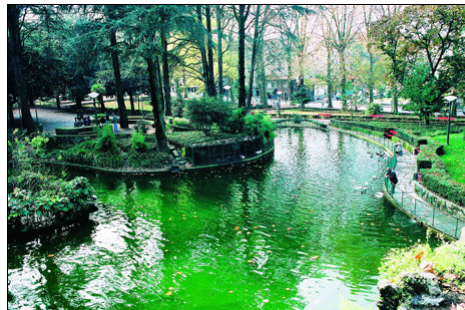
Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 7 Designação: Jardim com lago Tipologia: Pontual e/ou difusa



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40188,56 P 167068,93 Cota (m): 107,18

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: Câmara Municipal do Porto Endereço: Praça 9 de Abril

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos aluvionares e coluvionares

Litologia / grau de alteração: aluviões

Unidade hidrogeológica: Uh 1 – Formação superficial permeável porosa

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 14

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, fosfatos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

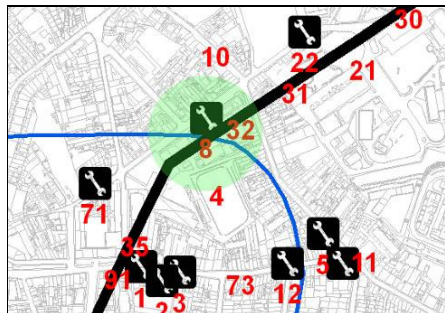
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 8 Designação: Oficina de automóveis Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40709,66 P 166819,79 Cota (m): 103,08

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua 9 de Abril, 612

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: aluviões

Unidade hidrogeológica: Uh 1 – Formação superficial permeável porosa

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 10

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido, gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

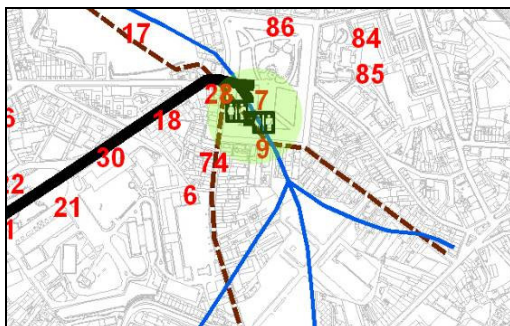
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 9 Designação: Balneário com instalações sanitárias Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40187,45 P 167014,24 Cota (m): 108,88

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: Câmara Municipal do Porto Endereço: Praça 9 de Abril

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos aluvionares e coluvionares

Litologia / grau de alteração: aluviões

Unidade hidrogeológica: Uh 1 – Formação superficial permeável porosa

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 37

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, hidrocarbonetos, microorganismos, coliformes fecais, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

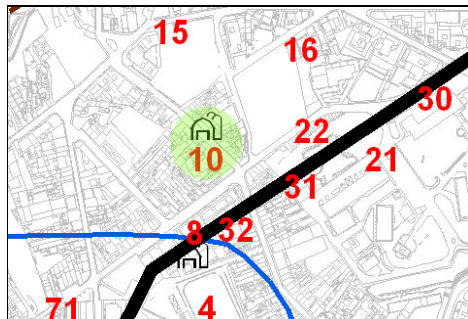
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 10 Designação: Industria Metalúrgica Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40696,53 P 166929,40 Cota (m): 102,86

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua de Silva Porto, 370

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 21

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: metais, fenóis, tri-cloroetileno, hidrocarbonetos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido, gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

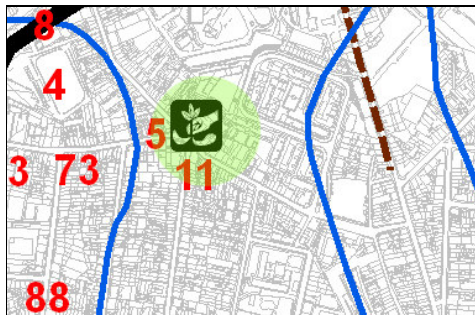
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 11 Designação: Jardim Tipologia: Pontual e/ou difusa



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40478,01 P 166631,64 Cota (m): 113,59

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: Câmara Municipal do Porto Endereço: Largo de S. Dinis

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 15

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, nitratos, nitritos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

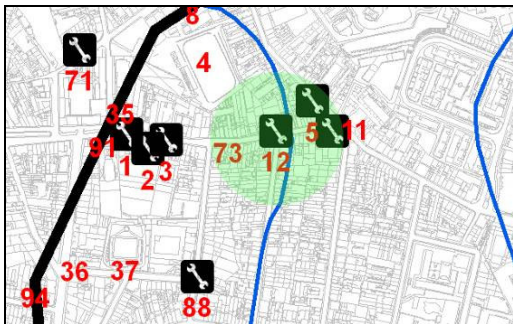
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 12 Designação: Oficina de automóveis Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40592,17 P 166610,46 Cota (m): 108,68

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua de S. Dinis, 531

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos aluvionares e coluvionares

Litologia / grau de alteração: aluviões

Unidade hidrogeológica: Uh 1 – Formação superficial permeável porosa

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 10

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido , gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

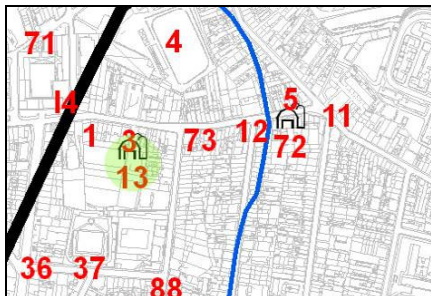
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 13 Designação: Indústria Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40750,74 P 166569,63 Cota (m): 104,33

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: Sercos Endereço: Rua de S. Dinis, 380

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: Encosta: Linha de água próxima: Afastada: Distância(m)

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 21

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: arsénio, amónia, benzeno, cádmio, bário, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

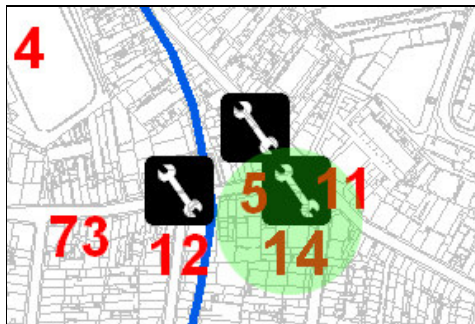
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 14 Designação: Oficina de automóveis Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40511,41 P 166610,30 Cota (m): 112,00

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua de S. Dinis, 610

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos compactos a maciço de muito fraca qualidade

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 - Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 10

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido , gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

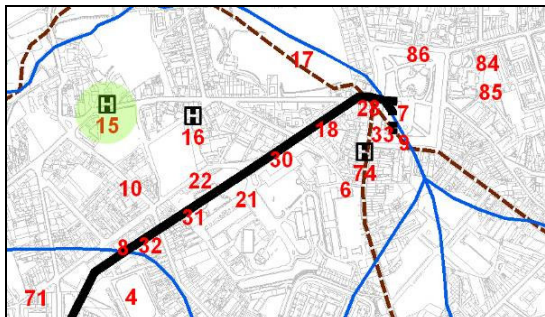
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 15 Designação: Clínica médica Tipologia :Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40739,41 P 167063,96 Cota (m): 97,98

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua de Monsanto, 569

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: 228 300 181

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 33

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: arsénio, bário, amónio, mercúrio, chumbo, hidrocarbonetos, nitratos, microorganismos, prata, cianeto, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

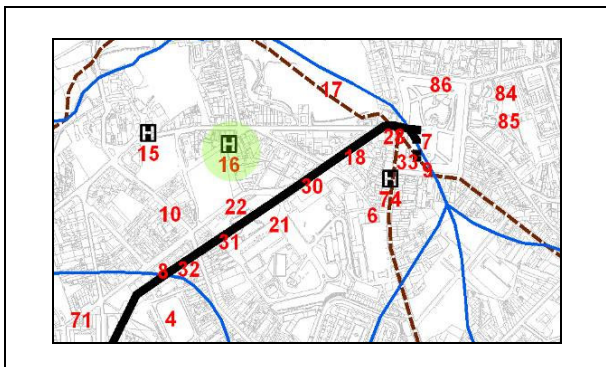
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 16 Designação: Hospital Veterinário Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40579,63 P 167042,56 Cota (m): 103,74

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Travessa de Silva Porto, 174

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: 228 348 170

Enquadramento geomorfológico:

Talude: Encosta: Linha de água próxima: Afastada: Distância(m)

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Unidade 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 32

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: arsénio, bário, amónio, mercúrio, chumbo, hidrocarbonetos, nitratos, microorganismos, prata, cianeto, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

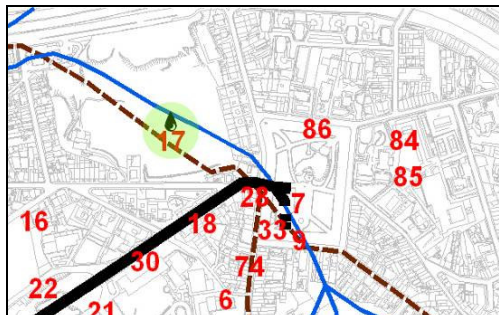
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 12/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 17 Designação: Lago artificial Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40377,95 P 167169,12 Cota (m): 105,23

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua de Monsanto

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia /grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 39

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, fosfatos, hidrocarbonetos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____

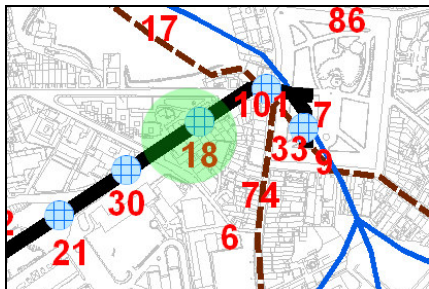
Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 18

Designação: Óculo Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40331,37 P 167039,94 Cota (m): 110,00

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: SMAS Endereço: Rua 9 de Abril, 1208

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1): 38

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, fosfatos, tricloroetileno, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____

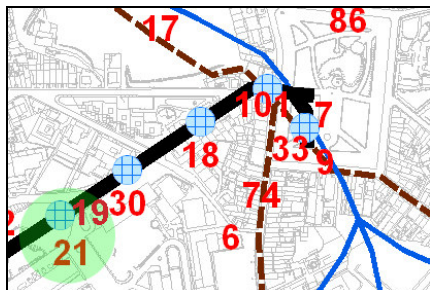
Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 19

Designação: Óculo Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40492,50 P 166931,74 Cota (m): 113,89

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: _____ Endereço: Rua 9 de Abril

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: Encosta: Linha de água próxima: Afastada: Distância(m)

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 38

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, fosfatos, tricloroetileno, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

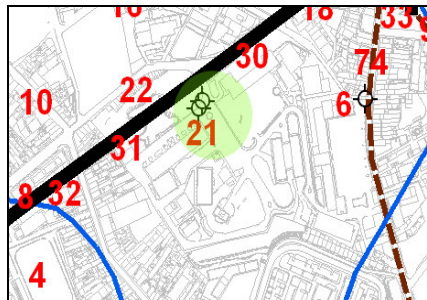
Observações: Localiza-se no interior do Centro das Forças Armadas do Porto

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 20 Designação: Furo de captação Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40484,69 P 166902,11 Cota (m): 114,84

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: _____ Endereço: Rua de 9 de Abril

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: Encosta: Linha de água próxima: Afastada: Distância(m)

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 2

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: _____

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): _____

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: Localiza-se no interior do Centro das Forças Armadas do Porto

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

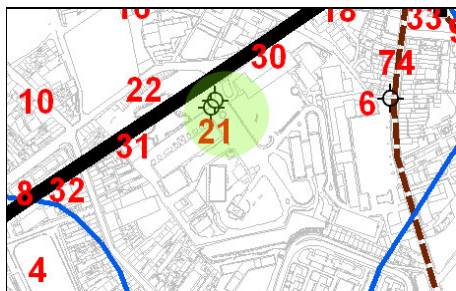
Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 21

Designação: Furo de captação

Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40480,23 P 166910,13 Cota (m): 115,03

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: _____ Endereço: Rua de 9 de Abril

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 1

Características / aparência: _____

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: Amónia, salinidade, hidrocarbonetos, metais, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

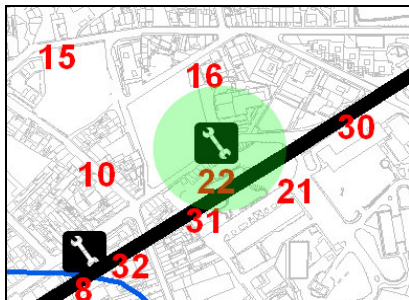
Observações: Localiza-se no interior do Centro das Forças Armadas do Porto e está desactivado, tendo sido construída por cima a recepção do Centro.

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 22 Designação: Oficina de automóveis Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40567,15 P 166944,45 Cota (m): 110,05

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua 9 de Abril, 831

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 10

Características / aparência: Má

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido , gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

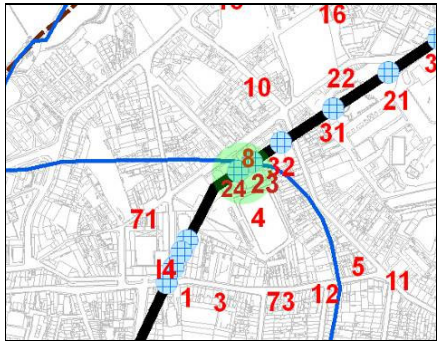
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 23 Designação: Óculo Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40705,29 P 166794,25 Cota (m): 103,42

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: _____ Endereço: Rua 9 de Abril, 608

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Maciço granítico rochoso de fraca a excelente qualidade

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 - Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 38

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, fosfatos, tricloroetileno

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

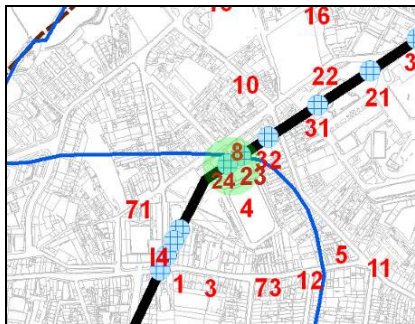
Observações: Localiza-se no interior da uma fábrica de meias

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 24 Designação: Acesso ao túnel (Entrada) Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40726,51 P 166779,88 Cota (m): 102,34

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: SMAS Endereço: Rua 9 de Abril, 604

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 40

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: amónia, salinidade, hidrocarbonetos, nitratos, nitritos, fosfatos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____

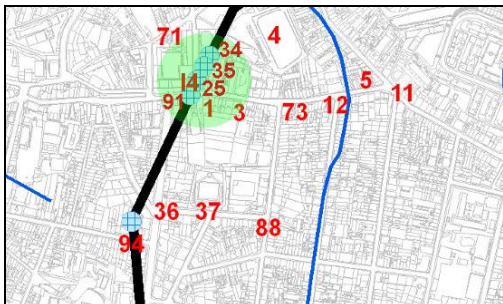
Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 25 Designação: Acesso ao túnel (porta)

Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40826,10 P 166630,97 Cota (m): 100,00

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: SMAS Endereço: Rua Nova do Regado

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh3- Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 40

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: amónia, salinidade, hidrocarbonetos, nitratos, nitritos, fosfatos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

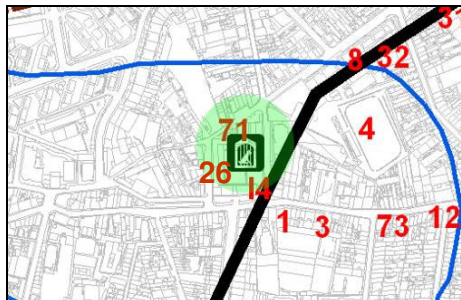
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 26 Designação: Canil Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40838,29 P 166613,08 Cota (m): 100,00

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: _____ Endereço: Rua de S. Dinis, 249

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 35

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, sulfatos, microorganismos, hidrocarbonetos, coliformes fecias, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

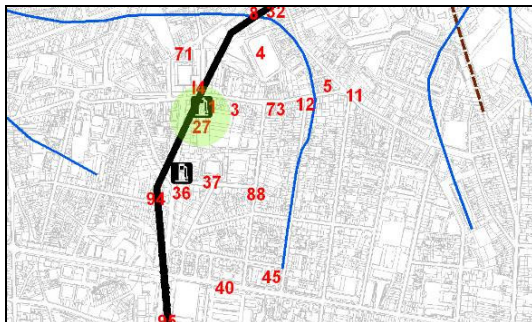
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 27 Designação: Estação de Serviço Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40831,75 P 166583,32 Cota (m): 100,98

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: Cepsa Endereço: Rua de S. Dinis

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 9

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, cádmio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

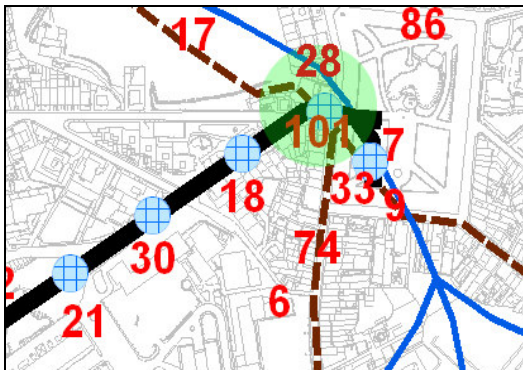
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 28 Designação: Acesso ao túnel (Porta) Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000
Coordenadas (m): M -40254,13 P 167078,55 Cota (m): 107,64
Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária
Proprietário: _____ Endereço: Rua de Monsanto
Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos aluvionares e coluvionares

Litologia / grau de alteração: aluviões

Unidade hidrogeológica: Uh 1 - Formação superficial permeável porosa

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 40

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: amónia, salinidade, hidrocarbonetos, nitratos, nitritos, fosfatos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido, gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

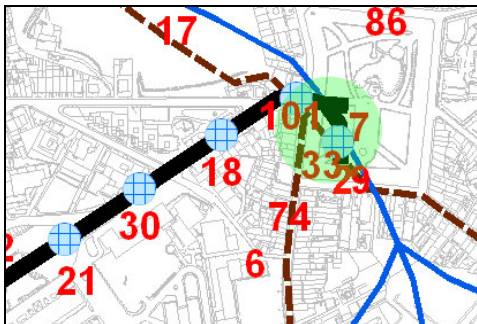
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 29 Designação: Acesso ao túnel (tampa) Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40210,65 P 167033,34 Cota (m): 108,19

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: _____ Endereço: Praça 9 de Abril

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos aluvionares e coluvionares

Litologia / grau de alteração: aluviões

Unidade hidrogeológica: Uh 1 – Formação superficial permeável porosa

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 40

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: amónia, salinidade, hidrocarbonetos, nitratos, nitritos, fosfatos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____

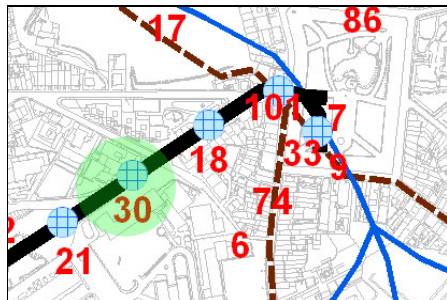
Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

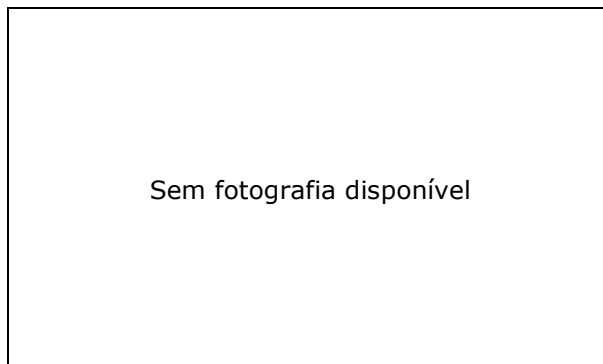
FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 30

Designação: Óculo Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40415,47 P 166983,80 Cota (m): 115,08

Condições de acesso: Inacessível

Proprietário: _____ Endereço: Rua 9 de Abril

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 38

Características / aparência: _____

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, fosfatos, tricloroetileno, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____

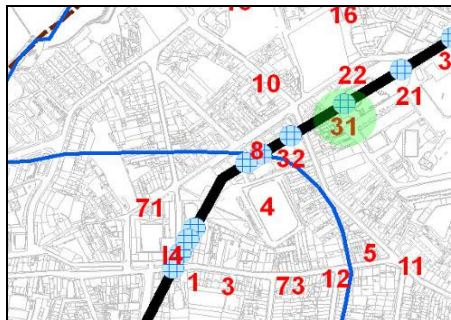
Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 31

Designação: Óculo Tipologia: Pontual



Planta de localização

Sem fotografia disponível

Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40579,11 P 166875,90 Cota (m): 110,16

Condições de acesso: Inacessível

Proprietário: _____ Endereço: Rua 9 de Abril

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 38

Características / aparência: _____

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, fosfatos, tricloroetileno, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____

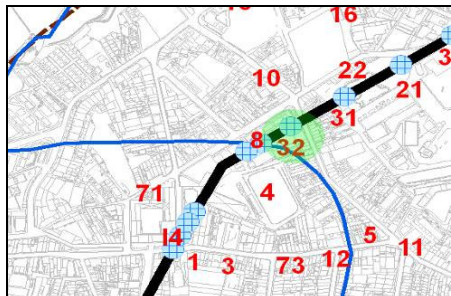
Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

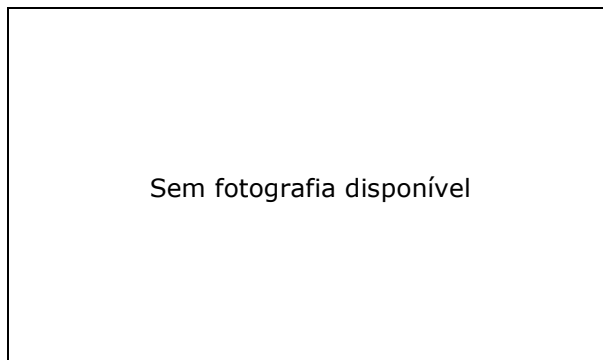
FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 32

Designação: Óculo Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40659,84 P 166823,78 Cota (m): 105,86

Condições de acesso: Inacessível

Proprietário: _____ Endereço: Rua de Silva Porto

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 38

Características / aparência: _____

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, fosfatos, tricloroetileno, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

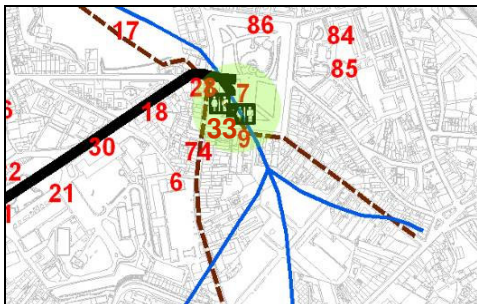
Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 33

Designação: Mictório

Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40227,55 P 167030,16 Cota (m): 109,15

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Praça 9 de Abril

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos aluvionares e coluvionares

Litologia / grau de alteração: aluviões

Unidade hidrogeológica: Uh 1 – Formação superficial permeável porosa

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 36

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, hidrocarbonetos, microorganismos, coliformes fecais, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área (s) afectada (s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

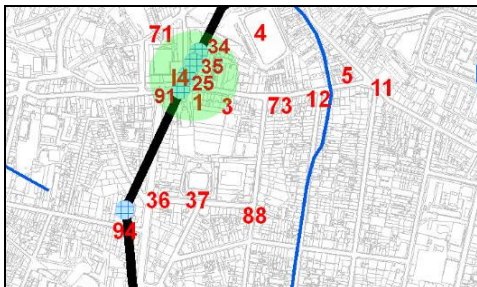
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 34 Designação: Acesso ao túnel (janela) Tipologia: Pontual



Planta de localização

Sem fotografia disponível

Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40805,33 P 166672,32 Cota (m): 100,00

Condições de acesso: Inacessível

Proprietário: _____ Endereço: Rua Nova do Regado

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1): 40

Características / aparência: _____

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, fosfatos, tricloroetileno, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

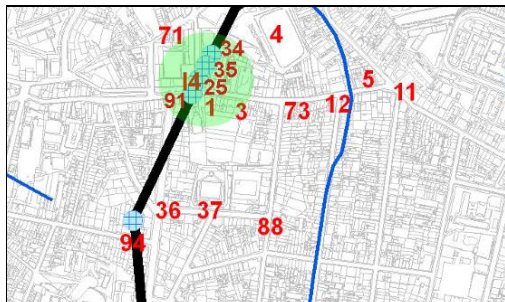
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 35 Designação: Acesso ao túnel (janela) Tipologia: Pontual



Planta de localização

Sem fotografia disponível

Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40814,32 P 166654,52 Cota (m): 100,00

Condições de acesso: Inacessível

Proprietário: _____ Endereço: Rua Nova do Regado

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1): 40

Características / aparência: _____

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, fosfatos, tricloroetileno, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

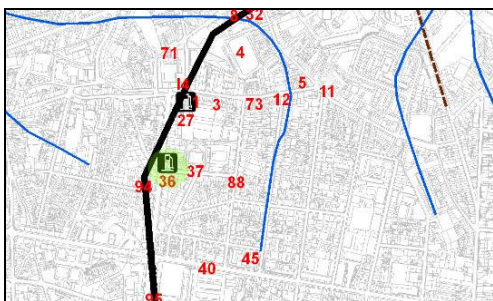
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

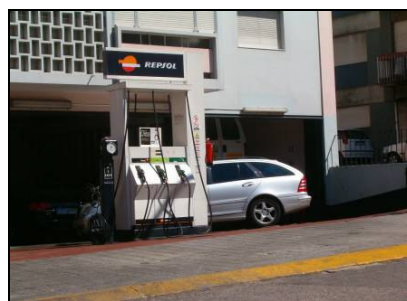
Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 36 Designação: Estação de Serviço Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40878,08 P 166430,47 Cota (m): 106,16

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua de Serpa Pinto, 616

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 9

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, cádmio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

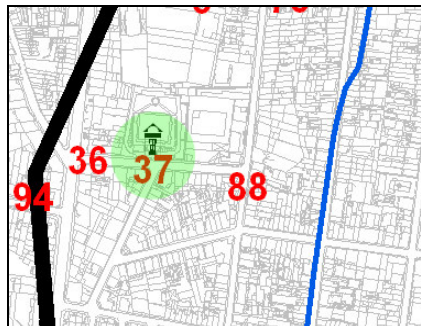
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 37 Designação: Edifício Abandonado Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40807,35 P 166431,23 Cota (m): 109,12

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: Smas Endereço: Rua do Zaire, 98

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 35

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, salinidade, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

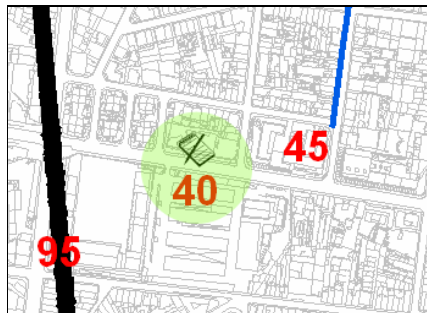
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 40 Designação: Jardim - Escola Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40777,16 P 166188,30 Cota (m): 114,91

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua da Constituição, 15

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh3 - Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 41

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: Nitratos, nitritos, sulfatos, coliformes fecais, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

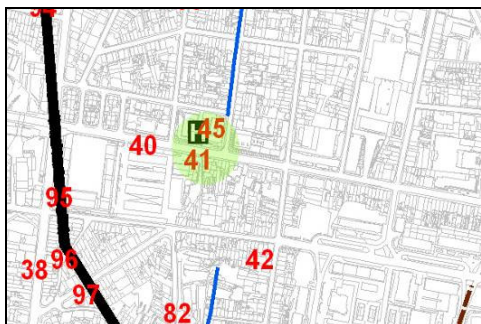
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 41 Designação: Serviços de tuberculose e Doenças Respiratórias Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40669,32 P 166213,36 Cota (m): 119,26

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua da Constituição, 1656

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 33

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: arsénio, mercúrio, chumbo, hidrocarbonetos, nitratos, microorganismos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

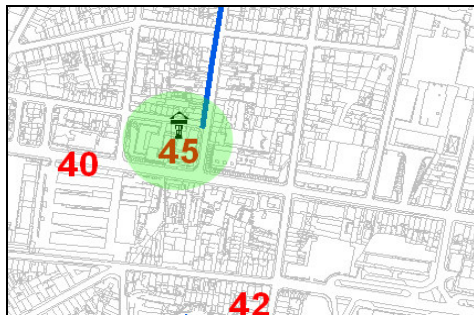
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 45 Designação: Associação contra a tuberculose do Porto Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000
Coordenadas (m): M -40669,32 P 166213,36 Cota (m): 119,28
Condições de acesso: Fácil
Proprietário: _____ Endereço: Rua do Quanza, 25
Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:
Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _
Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:
Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000
Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000
Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados
Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas
Unidade hidrogeológica: Uh 3 - Formação superficial permeável ou porosa e fissural
Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:
Tipo (e.g. 1) 33
Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):
Tipo: hidrocarbonetos, nitratos, nitritos, etc.
Quantidade: _____
Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido, gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____
Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

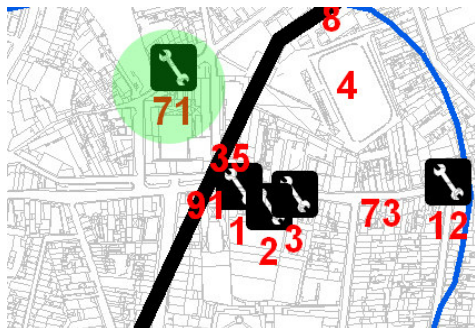
Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____
Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____
Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 71 Designação: Oficina de automóveis Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40871,59 P 166726,03 Cota (m): 96,84

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua 9 de Abril, 451

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos compactos a maciço de muito fraca qualidade

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 10

Características / aparência: Má

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido, gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

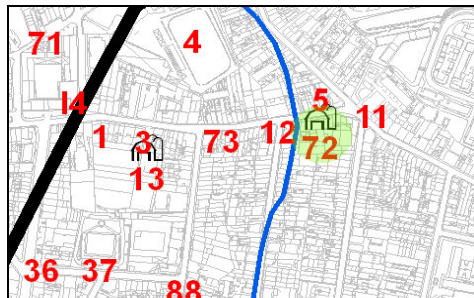
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/06/ 06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 72 Designação: Lavandaria Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40540,84 P 166610,07 Cota (m): 111,06

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua S. Dinis, 576

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos aluvionares e coluvionares

Litologia / grau de alteração: aluviões

Unidade hidrogeológica: Uh 1 – Formação superficial permeável porosa

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 42

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

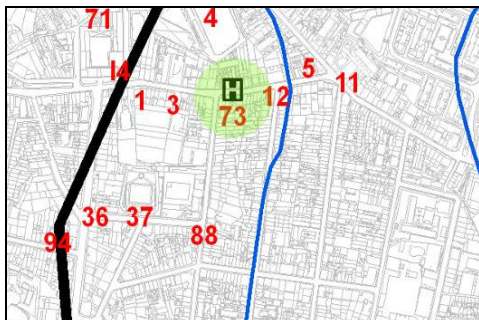
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/ 06/ 06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 73 Designação: Clínica Dentária Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40659,90 P 166598,99 Cota (m): 105,19

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua S. Dinis, 459

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 33

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: arsénio, bário, amónia, mercúrio, chumbo, hidrocarbonetos, nitratos, microorganismos, prata, cianeto, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

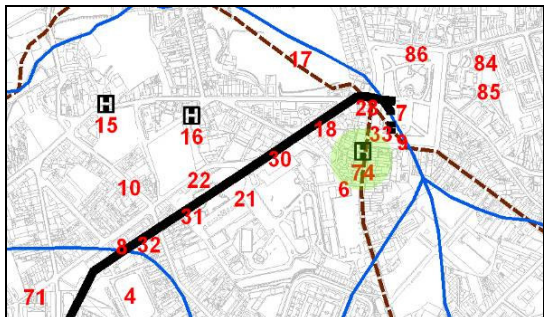
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/06/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 74 Designação: Clínica médico-cirúrgica Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40261,26 P 166975,96 Cota (m): 113,80

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua do Vale Formos, 635

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: Encosta: Linha de água próxima: Afastada: Distância(m)

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 33

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: arsénio, bário, amónio, mercúrio, chumbo, hidrocarbonetos, nitratos, microorganismos, prata, cianeto, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

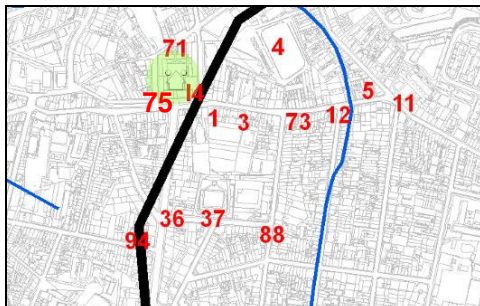
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/06/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 75 Designação: Repartição de limpeza urbana Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40837,42 P 166607,02 Cota (m): 98,61

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua S. Dinis, 249

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 35

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: amónia, salinidade, hidrocarbonetos, metais, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

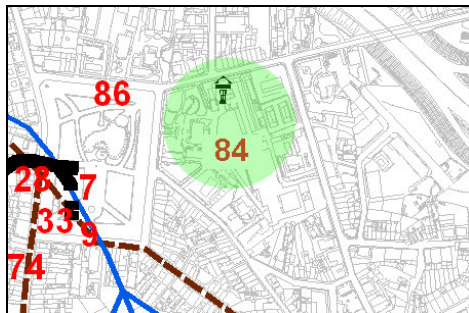
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 84 Designação: Ordem dos médicos Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40032,74 P 167161,82 Cota (m): 115,65

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: _____ Endereço: Rua Delfim Maia, 405

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) _____

Características / aparência: Boa Má Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, nitratos, coliformes fecais, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

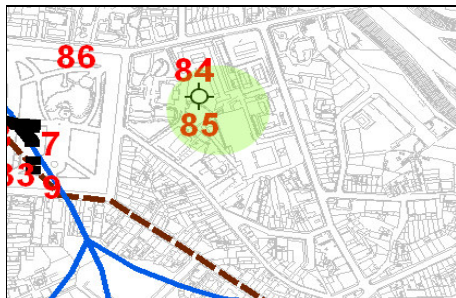
Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 85 Designação: Furo de captação Tipologia: Pontual



Planta de localização

Sem fotografia disponível

Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40025,75 P 167108,59 Cota (m): 116,13

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: _____ Endereço: Rua Delfim Maia

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 2

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: _____

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): _____

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

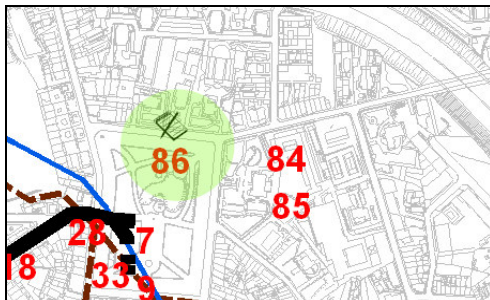
Observações: Localiza-se no interior da Ordem dos médicos

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 86 Designação: Universidade Fernando Pessoa Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40161,35 P 167178,21 Cota (m): 110,00

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Praça 9 de Abril, 349

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Maciço granítico rochoso de fraca a excelente qualidade

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 41

Características / aparência: Boa

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, nitratos, coliformes fecais, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

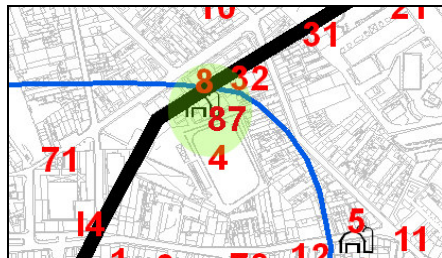
Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 87 Designação: Fábrica de Meias Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000
Coordenadas (m): M -40699,87 P 166786,93 Cota (m): 103,72
Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária
Proprietário: _____ Endereço: Rua 9 de Abril, 608
Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:
Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _
Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:
Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000
Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000
Unidade geológica e/ou geotécnica: Macico granítico rochoso de fraca a excelente qualidade
Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas
Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural
Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 21

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: arsénio, amónio, benzeno, cádmio, bário, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

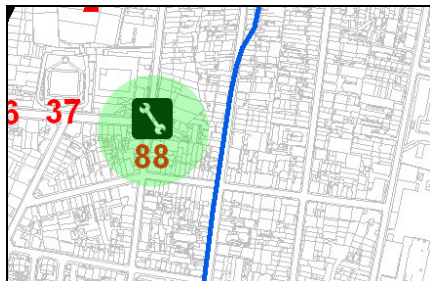
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 88 Designação: Oficina de automóveis Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40838,07 P 166649,28 Cota (m): 111,93

Condições de acesso: Fácil

Proprietário: _____ Endereço: Rua do Zambeze, 230

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 10

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: hidrocarbonetos, benzeno, fenóis, arsénio, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): líquido , gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

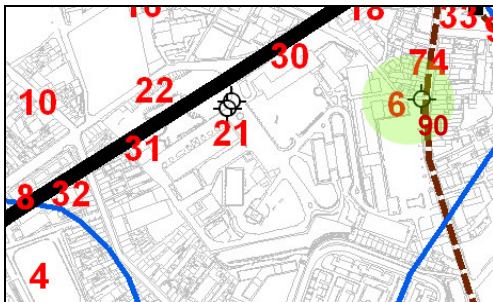
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 90 Designação: Furo de captação Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40268,36 P 166912,39 Cota (m): 122,66

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: _____ Endereço: Rua do Vale Formoso

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 2

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: _____

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): _____

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

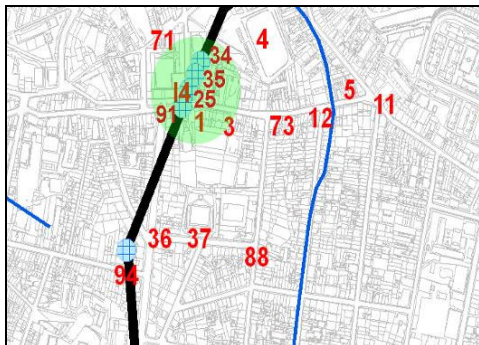
Observações: Localiza-se no interior da Polícia

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 91 Designação: Acesso ao túnel (Porta) Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40837,42 P 166607,02 Cota (m): 100,00

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: _____ Endereço: Rua de S. Dinis

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos medianamente compactos

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 40

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: amónio, salinidade, hidrocarbonetos, nitratos, nitritos, fosfatos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

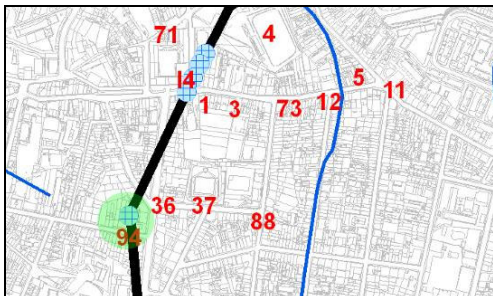
Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 10/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 94 Designação: Óculo Tipologia: Pontual



Planta de localização

Sem fotografia disponível

Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40936,54 P 166392,81 Cota (m): 104,47

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: _____ Endereço: Rua António Enes

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos residuais graníticos compactos a maciço de muito fraca qualidade

Litologia / grau de alteração: Granito de duas micas

Unidade hidrogeológica: Uh 3 – Formação superficial permeável ou porosa e fissural

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 38

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, fosfatos, tricloroetileno, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido, gasoso

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

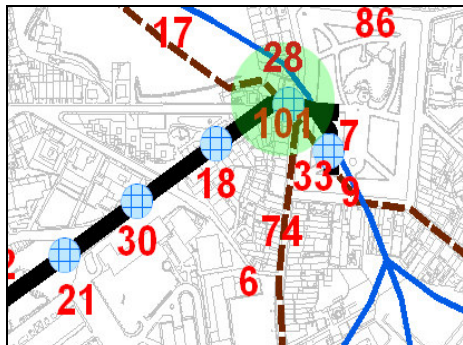
Data: 12/05/06

FICHA DE INVENTÁRIO DAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Nº de inventário: 101

Designação: Lavadouro

Tipologia: Pontual



Planta de localização



Fotografia

Folha nº: 122 (Porto) da carta topográfica 1/ 25000

Coordenadas (m): M -40254,13 P 167078,55 Cota (m): 107,57

Condições de acesso: Condicionado pela entidade proprietária

Proprietário: _____ Endereço: Rua de Monsanto

Pessoa de contacto: _____ Nº de telefone: _____

Enquadramento geomorfológico:

Talude: _ Encosta: _ Linha de água próxima: _ Afastada: _ Distância(m) _

Enquadramento Geológico e Hidrogeológico:

Carta Geológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Carta Hidrogeológica: Carta Geotécnica do Porto Escala: 1/10000

Unidade geológica e/ou geotécnica: Solos aluvionares e coluvionares

Litologia / grau de alteração: aluviões

Unidade hidrogeológica: Uh 1 – Formação superficial permeável porosa

Armadilha hidrogeológica suposta: _____

Descrição sucinta da fonte de contaminação:

Tipo (e.g. 1) 34

Características / aparência: Razoável

Descrição do(s) contaminante(s):

Tipo: nitratos, nitritos, fosfatos, etc.

Quantidade: _____

Tipo de descarga (e.g. sólido): sólido, líquido

Medidas protectoras: _____

Problemas aparentes: _____

Historial de descargas ou incidentes de contaminação: _____

Área(s) afectada(s) pela contaminação: _____

Esforços de remediação: _____

Amostra para análise: laboratorial nº _____ ecotoxicológica nº _____ Outra _____ nº _____

Observações: _____

Elaborado por: MJA/CS/IC/HIC

Data: 26/04/06